

Saimaan ammattikorkeakoulu
Sosiaali- ja terveysala Lappeenranta
Fysioterapeuttikoulutus

Asta Rahkonen ja Heidi Virkkunen

Tuki- ja liikuntaelimestön fyysisen kuormituksen analysointi suurtehoimuroinnin aikana

Opinnäytetyö 2017

Tiivistelmä

Asta Rahkonen ja Heidi Virkkunen
Tuki- ja liikuntaelimistön fyysisen kuormituksen analysointi suurtehoimuroinnin aikana, 53 sivua, 3 liitettä
Saimaan ammattikorkeakoulu
Sosiaali- ja terveysala Lappeenranta
Fysioterapeuttikoulutus
Opinnäytetyö 2017
Ohjaaja: yliopettaja Kari Kauranen, Saimaan ammattikorkeakoulu

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia suurtehoimuroinnin ergonomiaa ja apuvälineenä käytettävän suulakkeen hyötyä imuroinnin ergonomiassa MVN BIO-MECH -liikeanalyysilaitteella. Tutkimuksessa selvitettiin objektiivisin mittauksin suulakkeen vaikutusta selän eri osa-alueiden asentoon sekä olka-, ranne-, lonkka- ja polvinivelten nivelkulmiin. Lisäksi selvitettiin koehenkilöiden kokemaa subjektiivista kuormitusta imuroinnin aikana strukturoidun kyselylomakkeen avulla. Lassila & Tikanoja yrityksessä tutkittiin vuosina 2015-2016 suurtehoimuroinnin ergonomiaa turvallisuuden ja ergonomian kehittämishankkeen myötä. Yrityksessä ei oltu aiemmin tutkittu ergonomiaa liikeanalyysilaitteella.

Tutkimukseen osallistui kolme suurtehoimurointia työkseen tekevää koehenkilöä Lassila & Tikanoja yrityksestä Etelä-Karjalan alueella, koehenkilöt valittiin ryväso-
tantamenetelmällä. Tutkimuksen aikaulottuvuus oli poikittainen. Mittaukset toteutettiin oikeassa työympäristössä, jossa tehtävä oli simuloitu. Jokaiselle koehenkilölle suoritettiin liikeanalyysilaitteella kaksi mittausta, yksi ilman suulaketta ja yksi suulakkeen kanssa. Mittausten jälkeen koehenkilöt täyttivät kyselylomakkeen.

Tutkimusaineisto analysoitiin määrällisin ja laadullisin menetelmin. Kyselylomakkeen analysoinnin tuloksia verrattiin liikeanalyysilaitteella ilman suulaketta ja suulakkeen kanssa saatuihin mittaustuloksiin. Suulake kevensi lonkka- ja polvinivelten sekä lannerangan ja vasemman olkanivelen kuormitusta. Vastaavasti suulake lisäsi kuormitusta kaularangassa ja oikeassa olkanivelessä. Muissa nivelissä suulakkeella ei ollut vaikutusta kuormitukseen. Koehenkilöt eivät kokeneet subjektiivisesti suulakkeesta olevan hyötyä kuormituksen vähenemisessä tai kyselylomakkeen tulokset olivat ristiriidassa koehenkilöiden välillä sekä liikeanalyysilaitteella saatujen mittaustulosten kanssa.

Tulosten pohjalta suulakkeesta oli sekä hyötyä että haittaa. Suulaketta jatkokehittämällä imurointityön kuormittavuutta voitaisiin mahdollisesti keventää.

Asiasanat: suurtehoimurointi, nivelkulmat, suulake, MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitte

Abstract

Asta Rahkonen, Heidi Virkkunen

Analysis of the physical load on the musculoskeletal system during industrial vacuuming, 53 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Health Care and Social Services, Lappeenranta

Degree Programme in Physiotherapy

Bachelor's Thesis 2017

Instructor: Principal Lecturer, Dr. Kari Kauranen, Saimaa University of Applied Sciences

The objective of this Bachelor's thesis was to examine the ergonomics of the industrial vacuum cleaners and the benefits of using a vacuum cleaner nozzle with the full-body MVN BIOMECH motion analysis system. In the study, the effects of the nozzle on the spine was examined as well as the shoulder, wrist, hip and knee joint angles. In addition, the purpose was to find out the subjective physical load experienced by test subjects using a structured questionnaire. The ergonomics of cleaners had previously been examined based on a safety and ergonomics development project, but it had not been previously examined with a full-body motion analysis system in this company.

The study involved three test subjects who use cleaners in the company Lassila & Tikanoja in South Karelia. The test subjects were chosen using a cluster sampling method. The time dimension was transverse. There were two measurements for each test subject, vacuuming with and without the nozzle and those measurements were carried out in a simulated work environment. After the measurements, the test subjects completed the questionnaire.

The results were analyzed with quantitative and qualitative methods and the results were compared with the test results of industrial vacuuming with nozzle and without the nozzle.

Based on the results of this study, using the nozzle was useful because it lightened the physical load on the lumbar spine, left shoulder, hip and knee joints, but on the cervical spine and right shoulder joint, the vacuuming with nozzle increased the physical load. The nozzle did not affect the physical load in the other joints. The test subjects felt that there was no subjective advantage achieved with using the nozzle.

Based on the study there were both advantages and disadvantages to using the nozzle. The further development of the nozzle may lighten the physical load in industrial vacuum cleaners.

Keywords: industrial vacuum services, joint angles, vacuum cleaner nozzle, MVN BIOMECH motion analysis system

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Ergonomia	6
2.1	Tuki- ja liikuntaelimistön fyysinen kuormitus työssä	8
2.2	Työtehtävien kevennys apuvälineiden avulla	13
3	Suurtehoimurointi Lassila & Tikanoja-yrityksessä	15
4	Liikkeiden analysointi liikeanalysointilaitteella	19
5	Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset	22
6	Tutkimuksen toteutus	23
6.1	Aineisto	23
6.2	Tutkimusasetelma	24
6.3	Tiedonkeruumenetelmät	25
6.4	Tutkimuksen eettiset näkökohdat	26
6.5	Aineiston analysointi	27
7	Tulokset	28
7.1	Suulakkeen vaikutus nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa	28
7.2	Suulakkeen subjektiivisesti koettu hyöty suurtehoimuroinnissa	40
8	Pohdinta	43
8.1	Aineisto	44
8.2	Menetelmät	44
8.3	Tulokset	46
8.4	Jatkotutkimusaiheet	47
9	Johtopäätökset	48
	Kuvat	49
	Taulukot	50
	Lähteet	51

Liitteet

- Liite 1 Suostumuslomake
- Liite 2 Saatekirje
- Liite 3 Kyselylomake

1 Johdanto

Sairauspoissaolot ovat yksi merkittävimmistä tekijöistä, joiden seurauksena aiheutuu kustannuksia sekä yhteiskunnalle että työnantajille. Sairauspoissaoloista aiheutuvat kustannukset ovat noin 3,4 miljardia euroa vuodessa. (Rissanen & Kaseva 2014.) Kunta-alalla tuki- ja liikuntaelinsairaudet ovat olleet suurin syy työkyvyttömyyseläkkeelle siirtymiseen (KT Kuntatyönantajat, 2012).

Huono työasento tai -liike voi aiheuttaa työntekijälle liikuntaelinsairauden, jonka parantuminen saattaa kestää viikkoja. Jos esimerkiksi yhden sairauspäivän hinta on 300 euroa, niin kahden viikon poissaolo yritykselle maksaa 3000 euroa. Ergonomiaa parantamalla vaiva ei välttämättä toistu, ja työntekijä voi jatkaa työtään normaaliin tapaan sairausloman jälkeen. Sairauspoissaolopäivän kustannuksiin yritystasolla kuuluu laadun ja tuotannon menetysten vaikutus sekä sairastuneen korvaaminen. Sairauspoissaolot aiheuttavat myös työtä työterveyshuollolle ja henkilöstöhallinnolle. Lisäksi yrityksen luotettavuus voi kärsiä, mikäli toimitukset myöhästyvät sairauspoissaolojen myötä. (Launis & Lehtelä 2011, 336.) Suomalaisen kaikista sairauspoissaoloista ja työkyvyttömyyseläkkeistä puolet johtuu selkäsairauksista. Hyvään ergonomiaan panostamalla yhteiskunta säästää rahaa ja terveyttä. (Mertanen 2015, 91.)

Ehdotus opinnäytetyön suorittamiseen tuli Lassila & Tikanoja-yritykseltä. Suurtehoimurointi ja muut prosessipuhdistuksen työtehtävät aiheuttavat huonon ergonomiansa vuoksi Lassila & Tikanoja-yrityksen työntekijöille tuki- ja liikuntaelinsairauksien vaivoja. Tästä syystä työntekijöille koituu sairauspoissaoloja ja työkyvyn menetyksiä, jotka johtavat pahimmillaan ennenaikaiseen eläköitymiseen. Sairauspoissaoloista ja ennenaikaisista eläköitymisistä koituu lisäkustannuksia yritykselle ja yhteiskunnalle. (Hämäläinen 2016.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää apuvälineenä käytettävän suolakkeen hyötyä suurtehoimuroinnin ergonomiassa. Opinnäytetyö toteutetaan yhteistyössä palveluyritys Lassila & Tikanoja kanssa ja yritys voi hyödyntää opinnäytetyöstä saatuja tuloksia fyysisesti kuormittavan suurtehoimuroinnin ergonomian edistämisessä.

2 Ergonomia

Ergonomia käsite tulee kreikan kielen sanoista *ergo* = työ ja *nomos* = luonnonlait. Ergonomia tarkoittaa ihmisen ja toimintajärjestelmän vuorovaikutuksen tutkimista ja kehittämistä järjestelmän suorituskyvyn ja ihmisen hyvinvoinnin parantamiseksi. Sen avulla parannetaan ihmisen terveyttä, hyvinvointia ja turvallisuutta sekä häiriötöntä ja tehokasta järjestelmän toimintaa. Ergonomian avulla työympäristö, työ ja työvälineet sovitetaan vastamaan ihmisen tarpeita ja ominaisuuksia. (Launis & Lehtelä 2011, 19.) Ergonomia on monitieteistä toimintaa, jossa ihmisen, työn ja tekniikan asiantuntijoiden laaja-alaisella yhteistyöllä päästään toivottuihin tuloksiin (Kukkonen, Hanhinen, Ketola, Luopajarvi, Noronen & Helminen 2001, 22).

Ergonomialla tarkoitetaan työn, työmenetelmien, työvälineiden ja työympäristön mukauttamista ihmisen ominaisuuksia ja tarpeita vastaaviksi. Työolosuhteiden puutteellisuus hankaloittaa työntekoa ja lisää ruumiillista ja henkistä kuormitusta, rasitusoireita ja heikentää työmotivaatiota. Työoloilla on suuri merkitys työkyvyn ylläpitämisessä ja sairauksien puhkeamisessa ja pahenemisessa, vaikka työn kuormittavuus ja sairauksien välinen yhteys ei olekaan yksiselitteinen. (Kukkonen ym. 2001, 22-23.)

Kansainvälinen ergonomiayhdistys *International Ergonomics Association* = IEA määrittää ergonomian kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat fyysinen, kognitiivinen ja organisatorinen ergonomia. Fyysisellä ergonomialla tarkoitetaan työympäristön, työpisteiden, työmenetelmien ja työvälineiden suunnittelua. Kognitiivinen ergonomia käsittää järjestelmien ja niiden käyttöliittymien (kuten näyttöjen ja ohjainten) ja tiedon esittämistapojen suunnittelun. Henkilöstön, työprosessin, työkokonaisuuksien ja työaikajärjestelyiden suunnittelu sekä tuotannon, toiminnan laadun ja yhteistyön kehittäminen käsittävät organisatorisen ergonomian. (Launis & Lehtelä 2011, 20.)

Terveellinen ja turvallinen työympäristö kohentaa tuottavuutta, työmotivaatiota ja työn laatua sekä edistää hyvää palvelua. Hyvällä työturvallisuuden noudattamisella vaikutetaan työntekijän jaksamiseen ja työssä jatkamiseen. (Hänninen, Koskelo, Kankaanpää & Airaksinen 2005, 129.)

Työturvallisuudesta on säädetty laki, jonka tarkoituksena on parantaa työolosuhteita, työympäristöä sekä ehkäistä ammattitautoja, tapaturmia ja työhön liittyviä muita fyysisen ja henkisen terveyden haittoja (Hänninen ym. 2005, 129).

Työturvallisuuslaki vuodelta 2002 määrittää, että *työpisteen rakenteet ja käytettävät työvälineet on valittava, mitoittettava ja sijoitettava työn luonne ja työntekijän edellytykset huomioon ottaen ergonomisesti asianmukaisella tavalla. Niiden tulee mahdollisuuksien mukaan olla siten säädettävissä ja järjestettävissä sekä käyttöominaisuuksiltaan sellaisia, että työ voidaan tehdä aiheuttamatta työntekijän terveydelle haitallista tai vaarallista kuormitusta. Lisäksi on otettava huomioon, että:*

- 1) työntekijällä on riittävästi tilaa työn tekemiseen ja mahdollisuus vaihdella työasentoa;*
- 2) työtä kevennetään tarvittaessa apuvälinein;*
- 3) terveydelle haitalliset käsin tehtävät nostot ja siirrot tehdään mahdollisimman turvallisiksi, milloin niitä ei voida välttää tai keventää apuvälinein; ja*
- 4) toistorasituksen työntekijälle aiheuttama haitta vältetään tai, jollei se ole mahdollista, se on mahdollisimman vähäinen. (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.)*

Syksyn 2016 työolobarometrin ennakkotietojen mukaan työturvallisuuteen ja terveyden edistämiseen on viime vuosikymmeninä alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota työpaikoilla. Barometria varten haastateltiin 1631 palkansaajaa vastausosuuden ollessa 80,3 prosenttia netto-otoksesta. Työolobarometrin vastausten perusteella sairauspoissaolojen määrä on ollut laskussa vuodesta 2005 lähtien. Silti yhä useampi on ollut työpaikalta pois sairastumisen vuoksi, joka tarkoittaa lyhyiden sairauspoissaolojaksojen kasvua ja vastaavasti pitkien sairauspoissaolojaksojen vähenemistä. Vuosikeskiarvo sairauspoissaoloissa on pysynyt 7,3 päivässä viimeisen kolmen vuoden aikana. (Mähönen 2017, 4, 64, 68.)

Osallistuvan ergonomian on osoitettu onnistuneen useilla toimialoilla. Sen avulla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä työpaikan ja laitteiden suunnittelussa sekä terveellisessä työkäyttäytymisessä. Osallistuvassa ergonomiassa johdon tuki on

olennainen asia, ja tärkeää on myös kaikkien sidosryhmien osallistuminen keskusteluihin, joissa käsitellään toteutuvuutta, toteuttamista ja kustannuksia. Työntekijöiden osallistuminen työvoiman ratkaisujen kehittämiseen voi johtaa positiiviseen muutokseen ja esimiesten tulisi kannustaa tähän. (Eaves, Gyi & Gibb 2016, 11, 17.)

Eaves ym. (2016) tekemän teemahaastattelun avulla selvitettiin rakennusalan työntekijöiden mahdollisuuksia edistää muutoksia työpaikallaan terveytensä ja hyvinvointinsa parantamiseksi. Rakennusalan työntekijöille teetetyn haastattelun pohjalta 80 vastaajasta 96 prosenttia ilmoitti tehneensä muutoksia, joilla tehdä työstä fyysisesti helpompaa, turvallisempaa ja terveellisempää. Liikuntaelinoireiden vähentämiseksi yleisempinä muutoksina mainittiin selän suorassa pitäminen, polvien koukistaminen, kollegalta avun saaminen tai apuvälineiden käyttäminen. (Eaves ym. 2016, 13.)

2.1 Tuki- ja liikuntaelimistön fyysinen kuormitus työssä

Haittaava fyysinen kuormitus voi ilmetä työntekijän epämieluisina tuntemuksina, oireina tai sairauksina, ja pahimmissa tapauksissa ammattitautena ja työkyvyttömyytenä. Arvioimalla työn fyysistä kuormittavuutta voidaan tunnistaa raskaimmat työtehtävät ja mitata työoloissa tehtyjen muutosten mahdollisia vaikutuksia. Arviointikeinoina voidaan käyttää työntekijöiden haastatteluja, kyselylomakkeita, työpäiväkirjoja sekä vapaamuotoista tai strukturoitua työn havainnointia ja edellä mainittujen apuna esimerkiksi videointia. (Kukkonen ym. 2001, 105.)

Biomekaaninen kuormitus aiheuttaa liikuntaelinsairauksia, sillä mekaanisten voimien ylittäessä kudosten kestävyys, kudokset vaurioituvat (Kukkonen ym. 2001, 124). Staattiset asennot, toistuvat liikesuoritukset, värinä, ulkoiset voimat ja normaalia poikkeavat työskentelylämpötilat aiheuttavat työn fyysistä kuormittavuutta. Staattinen isometrinen lihastyö vaatii jatkuvaa lihasaktiiviteettia, mikä heikentää ja laskee jännittyneiden lihasten aerobista aineenvaihduntaa ja aiheuttaa lihaskipuja. Nivelten epäergonomisten liikkeiden vähentäminen työvälineiden tarjuntaa muuttamalla vähentää ranneniveltä kuluttavia työasentoja ja tarpeetonta lihasjännitystä niska-hartiaseudulla. (Kauranen & Nurkka 2010, 30-31.)

Tuki- ja liikuntaelinten kuntoon vaikuttavat toistotyö, yksipuoliset ja huonot liikkeet, pitkäaikainen istuminen, huonot työasennot ja raskaat nostot. Yleisimpiä virheitä ovat niskan ja selän epäergonomiset asennot, nivelten ääriasennot ja yläraajojen kohoasennot. (Mertanen 2015, 90-91.)

Työssä kuormittuminen riippuu työntekijän yksilöllisistä ominaisuuksista, toimivien lihasten määrästä ja tavasta toimia, voimankäytöstä ja lihastyön kestosta. Fyysisen työkuormituksen vaikutukset näkyvät verenkiertoelimistön, hermoston ja liikuntaelinten kuormittumisena. Haittaavaa fyysistä kuormitusta pidetään merkittävänä selkäsairauksien kehittymisen aiheuttajana, ja se on myös yhteydessä työkyvyttömyysriskiin. Työikäisillä yleisin työ- ja toimintakykyä rajoittava liikuntaelinongelma on selkäkipu ja tavallisimpia syitä lääkärin vastaanotolle hakeutumiseen ovat niskan ja hartiaseudun alueen ongelmat. Suurimpia sairaseläkkeiden aiheuttajia ovat selkä- ja niska-hartiavaivat, ja näiden vaivojen tuloksellisella ehkäisyllä olisi kansanterveydellisesti sekä taloudellisesti suuria vaikutuksia. Tapaturmien torjunta, raskaiden töiden keventäminen, kuormitushuippujen poistaminen, asentokuormituksen optimoiminen sekä staattisten työvaiheiden vähentäminen ovat toimenpiteitä, joilla fyysistä työkuormitusta voidaan säädellä ja vähentää. (Kukkonen ym. 2001, 91, 116, 132, 145.)

Fagerström (2013) tutki hoitotyön ergonomisen avustamisintervention vaikutusta fyysiseen kuormittavuuteen. Kolmevuotiseen tutkimukseen osallistui yhteensä 292 koehenkilöä, joista 147 kuului interventioryhmään ja 145 verrokkiryhmään. Avustamisintervention tavoitteena oli haitallisen fyysisen kuormituksen vähentäminen hoitotyössä. Tutkimuksessa todettiin ergonomisen avustamisintervention vähentävän hoitajien fyysistä kuormitusta ja esimerkiksi niskavaivat vähenivät 72% interventioryhmässä. (Fagerström 2013, 4, 91.)

Työn fyysistä ja psyykkistä kuormittavuutta vanhustenhoidossa tutkinut Hellstén selvitti, millaisia vaikutuksia ergonomisella kehittämisinterventiolla voidaan saada aikaan fyysisen kuormittavuuden vähentämisessä. Tutkimuksessaan Hellstén (2014) hyödynsi vuosina 2010-2012 Turun kaupungin 47 vanhuspalvelujen työyksiköissä toteutetun ergonomisen kehittämisintervention sekä 2010 ja 2012 vuosina 120 työyksikössä toteutetun Kunta10 -kyselyn tuottamaa tietoa. Tulosten

mukaan eniten koettua fyysistä kuormitusta vähensi ergonomiakoulutus. Edistääkseen työn kuormittavuuden vähentämistä ja turvallista työskentelyä vaaditaan lähiesimiehiltä pitkäkestoista toimintaa ja hyvää johtamista. Ergonomiavaa-
taavien toiminnan vakiinnuttamisella ja ottamalla käyttöön fyysisten riskien hallin-
tamalli tuetaan tavoitteiden saavuttamista. (Hellstén 2014, 3.)

Työolobarometrissa on vuodesta 2002 lähtien kysytty kokemusta työn kokonais-
kuormittavuudesta. Syksyn 2016 barometrin mukaan yhä harvempi vastaajista
enää kertoo työn olevan selvästi joko raskasta tai ei, vaan lähinnä vastaukset
vaihtelevat ollen jotakin siltä väliltä. Vuonna 2016 yhteensä 36% barometriin vas-
tanneista koki työnsä fyysisesti raskaaksi ja henkisesti raskaaksi työnsä heistä
koki 58%. Työn henkinen kuormittavuus oli näin ollen suurempi. Työolobaromet-
rissa työn kokonaiskuormituksen ohella vastaajilta on kysytty kokemuksia työky-
vyn ruumiillisista ja henkisistä vaatimuksista. Yhä useampi vastaajista piti työky-
kyään erittäin hyvänä, aiempaan melko hyvään verrattuna. (Mähönen 2017, 70,
73.)

Kaularankaan kohdistuu suuri biomekaaninen kuormitus esimerkiksi niskan etu-
kumaran asennon, niskaan kohdistuvien suurten voimien, kädet koholla työsken-
telyn, staattisten työasentojen ja raskaan ruumiillisen työn vaikutuksesta. Edellä
mainituista voi aiheutua jännitysniskan oireita, ja lisäksi on todettu, että esimer-
kiksi hammaslääkäreillä ja yleensä raskaan fyysisen työn tekijöillä on suurentunut
riski kaularangan rappeutumismuutoksille. (Kukkonen ym. 2001, 147-148.)

Pystyasennon säilyttämiseksi tarvitaan nivelsiteiden ja lihasten tukea. Seisoma-
asennossa kehon painopiste sijaitsee selkärangan etupuolella noin 54-57%:n
korkeudella ihmisen pituudesta. Neljännen lannenikaman keskipisteen etupu-
olelta kulkee painovoimalinja eli vartalon painopisteen kautta kulkeva pystysuora-
linja. Tämä pystysuora voima aiheuttaa selkärangan liikesegmenttien etupuolella
eteenpäin kallistavan momentin, jota selkälihasten ja nivelsiteiden on tasapaino-
tettava. Olennaista selän kuormitusta määriteltäessä on seisomatasapaino. Lan-
nerangan välilevypaineiden mittauksissa on saatu selville, että seistessä 3. ja 4.
lannenikaman väliseen välilevyyn kohdistuu noin kaksinkertainen kuormitus ylä-
vartalon painoon verrattuna, mikä johtuu tasapainon ylläpitämisen edellyttämästä
selkälihasten jännittämisestä. (Kukkonen ym. 2001, 136, 139.)

Koko kehon painopisteen ollessa jalkaterien rajaaman tukipinnan yläpuolella ja painovoimalinjan kulkiessa keskipisteen kautta seisoma-asentoa voidaan pitää stabiilina ja tasapaino on helppo säilyttää. Luotisuora-asennossa keho jakautuu symmetrisesti kahteen osaan, jolloin kuormitus on pienimmillään asentoa ylläpitävissä lihaksissa ja nivelsiteissä. Suorassa symmetrisessä asennossa nivelet ja välilevyt kestävät kuormitusta parhaiten, jolloin se on työasentona parhain. Työskentely keskiasennosta poikkeavissa asennoissa lisää kuormitusta ja selkävairojen riskiä. Äärikumarassa asennossa välilevyihin kohdistuva kuormitus on merkittävä, ja jos tähän asentoon liittyy vartalon kiertoa, välilevypaine kasvaa jälleen, ja pelkkä ylävartalon paino saattaa aiheuttaa selkään kudoksia vaurioittavia voimia. Äärimmäisen haitallista työliikkeissä on selän kierto ja taivutus etenkin, mikäli käytetään lihasvoimaa. Istuma-asennossa lanneselän välilevyihin kohdistuva paine on suurempi kuin seistessä, ja useimpien tutkijoiden mukaan lannerangan luonnollisen notkon säilyttäminen istumisen aikana on tärkein yksittäinen tekijä selän kuormituksen kannalta. (Kukkonen ym. 2001, 133-134, 136-137, 139, 141.)

Nivelten aktiiviset liikelaajuudet ja ylikuormituksen raja-arvot

Nivelten erilaisista liikkeistä voidaan mittaamalla määrittää nivelten liikelaajuudet. Anatomista nivelen lepoasentoa merkitään yleensä 0°:lla. Lepoasennosta niveltä liikutetaan passiivisesti tai aktiivisesti nivelen liikeradan ääriasentoon. (Kauranen & Nurkka 2010, 49.)

Kehon osa	Aktiivinen liike	Asteet °
Kaularanka:	Koukistus	80-90
	Ojennus	70
	Sivutaivutus	20-45
	Kierto	70-90
Rintaranka:	Koukistus (eteentaivutus)	20-45
	Ojennus	25-45
	Sivutaivutus	20-40
	Kierto	35-50
Lanneranka	Koukistus (eteentaivutus)	40-60
	Ojennus	20-35
	Sivutaivutus	15-20
	Kierto	3-18
Olkanivel	Koukistus	180
	Ojennus	50-60
	Sisäkierto	60-100
	Ulkokierto	80-90
	Loitonuus	180
	Lähennys	50-75
	Horisontaalinen lähennys/loitonuus	130
Rannenivel	Koukistus	80-90
	Ojennus	70-90
	Kyynärluun suuntainen taivutus	30-45
	Värttinäluun suuntainen taivutus	15
Lonkkanivel	Koukistus	100-120
	Ojennus	10-15
	Loitonuus	30-50
	Lähennys	30
	Sisäkierto	30-40
	Ulkokierto	40-60
Polvinivel	Koukistus	0-135
	Ojennus	0-15
	Sisäkierto	20-30
	Ulkokierto	30-40

Taulukko 1. Nivelten aktiiviset liikelaajuudet (Magee 2008, 147, 247, 415, 483, 533, 626, 667, 743)

Nivelten liikealueiden ääriarvoissa tehtävissä työsuorituksissa lihakset, rustot, nivelkapselit ja nivelsiteet kuormittuvat. Ääriarvoissa kuormitus kasvaa suhteessa nopeammin kuin keskivaiheella liikealuetta. (Kukkonen ym. 2001, 130.) Nivelten ääriarvot ovat yksi keskeisistä liikkeen riskitekijöistä. Työliikkeet on

suotuisa tehdä nivelten liikelaajuuksien keskialueilla eli neutraaliasennoissa. Ääriasennoissa lihaspituudet ovat joko lyhimmillään tai pisimmillään ja vipuvarret voiman ja liikkeen tuottamiseksi pienimmillään, joten lihakselta vaadittava voima lisääntyy. Siitä syystä lihasten ja jänteiden vaurioitumisriski kasvaa. Näin ollen ääriasentoja tulee työliikkeissä välttää. Ääriasennoissa nivelten rakenteet voivat joutua myös puristuksiin tai liialliseen venytykseen. (Launis & Lehtelä 2011, 81, 195, 198.)

	Vähiten kuormittava	Jokseenkin kuormittava	Erittäin kuormittava
Niskan eteentaivutus	0-15°	15-45°	>25° suhteessa selän asentoon >45°
Niskan taaksetaivutus	0°	0-5°	>5°
Niskan sivutaivutus	0-5°	5-15°	>15°
Niskan kierto	0-15°	15-45°	>45°
Selän eteentaivutus seisten	0-20°	20-60°	>60°
Selän taaksetaivutus seisten	0°	0-5°	>5°
Selän sivutaivutus	0-5°	5-15°	>15°
Selän kierto	0-15°	15-45°	>45°
Olkavarsi eteen nostettuna (koukistus)	0-20°	20-60°	>60°
Olkavarsi sivulle nostettuna (loitonnuks)	0-10°	10-30°	>30°
Ranteen keskiasennosta poikkeavat liikkeet	0°	>20°	>20°

Taulukko 2. Ylikuormituksen raja-arvot eri nivelille ja liikesuunnille (Kukkonen ym. 2001, 145,151; Ketola & Laaksonlaita 2004)

2.2 Työtehtävien kevennys apuvälineiden avulla

Käsityöläisyyden aikana jokainen ammattimies teki itse työkalunsa, joten työkalut muovautuivat luonnostaan käyttäjän ja työn vaatimusten mukaisiksi. Teollisen massatuotannon alettua työkalujen yksilöllisyys katosi ja tekniikasta tuli monimutkaista. Useista työtilanteista on tullut ihmisen kannalta epämukavia tai haitallisia. Ongelmien välitöntä havaitsemista vaikeuttaa ihmisen mukautumis- ja joustokyky työolosuhteisiin. (Kukkonen ym. 2001, 23.)

Fyysisen ergonomian avuksi on kehitetty nostimia ja painon kannatteluun tarkoitettuja tukiratkaisuja sekä paremmin käteen sopivia työvälineitä, jotka vähentävät tarvetta käyttää fyysistä voimaa (Mertanen 2015, 90). Apuvälineellä voidaan tarkoittaa kannatinlaitetta, jonka tarkoituksena on parantaa ergonomiaa erityistä tarkkuutta ja voimankäyttöä vaativassa tai voimakasta värinäaltistusta aiheuttavassa työssä (Launis & Lehtelä 2006, 44).

Eaves ym. (2016) tekemän teemahaastattelun mukaan työntekijät helpottivat työskentelyään erilaisin tai itse kehittämin apuvälinein. Suurin osa työntekijöistä ei käyttänyt standardin mukaisia polvisuojia, sillä heillä ei ollut tarpeeksi aikaa pukea niitä päälle urakkatyöstä johtuen tai ne tuntuivat epämukavilta. Sen sijaan polvisuojina käytettiin mattoja, pahvia ja tyynyjä paremman mukavuuden ja suojan vuoksi. Kahdessa tapauksessa työntekijät loivat omia polvisuojia rakennusmateriaaleista tai vaahdosta. (Eaves ym. 2016, 14-15.)

Koskelo (2006) tutki koulukalusteiden vaikutusta istuma- ja seisomaryhtiin, lihaskäynnitykseen sekä niska-hartiaseudun ja selän kipuihin ja päänsärkyyn lukiolaisilla. Kaksivuotiseen interventiotutkimukseen osallistui yhteensä 30 lukiolaista kahdesta eri koulusta. Toinen koulu toimi interventioryhmässä ja toinen verrokkiryhmässä. Interventioryhmällä oli käytössä kaltevuus- ja korkeussäädettäviä pöytiä ja korkeussäädettäviä satulatuoleja. Verrokkiryhmä käytti säätämättömiä kouluissa ennestään käytettyjä kalusteita. Kaltevuus- ja korkeussäädettävät pöydät ja korkeussäädettävät satulatuolit vähensivät niska-hartiaseudun kipuja ja paransivat ryhtiä. (Koskelo 2006, 3.)

Fagerströmin (2013) tutkimuksessa todettiin ergonomisten apuvälineiden käytön hoitotyössä keventävän avustustyöstä johtuvaa kuormitusta. Lähtötasolla ergonomisten apuvälineiden käytössä ei ollut eroa ($p > 0,05$) ryhmien välillä, mutta asiantuntijoiden apuvälinehankintasuunnitelman pohjalta interventio-osastoille hankittiin lisää ergonomisia apuvälineitä, joiden johdosta tilanne kehitysvaiheen aikana ryhmien välillä muuttui siten, että interventioryhmässä kuormitus keveni ($p < 0,05$). (Fagerström 2013, 97, 153.)

3 Suurtehoimurointi Lassila & Tikanoja-yrityksessä

Lassila & Tikanoja on palveluyritys, joka toimii Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä työllistäen 8 000 henkeä. Yhtiön tavoitteena on kulutusyhteiskunnan muuttaminen tehokkaaksi kierrätysyhteiskunnaksi. Yrityksen ydinliiketoimintoihin kuuluvat ympäristö-, teollisuus-, kiinteistö- ja metsäpalvelut. (Lassila & Tikanoja 2013c.)

Lassila & Tikanojalla suurtehoimurointi kuuluu yrityksen prosessipuhdistuksen palveluihin. Muita yrityksen tarjoamia prosessipuhdistuksen palveluja ovat korkeapainepesut, märkäimupalvelut ja erikoispalvelut kuten hiekkapuhallukset ja kuivajääpuhallukset. (Lassila & Tikanoja 2013a.)

Suurtehoimurilla tarkoitetaan suurta imuria, jonka tekniikka hyödyntää suurta ilmamäärää, alipainetta sekä erilaisia suodattimia ja säiliöitä. Imurin imuletkun pituus voi olla yli 100 metriä ja halkaisija yli 100 millimetriä. Suurtehoimuroinnin avulla hankkiudutaan eroon erilaisista jätteistä sekä remonttityömailla että teollisuudessa. Suurtehoimurin avulla voidaan poistaa materiaaleja, jotka kokonsa puolesta mahtuvat kulkemaan suurtehoimurin letkun läpi. Suurtehoimurilla imuroitavia materiaaleja voivat olla esimerkiksi puru, sammal, hiekka, turve, eristeet, betoni, pöly, tuhka, lietteet ja hake. Lisäksi imuri imee säiliöönsä myös märkää betonia. (Rakentajanetti 2016.)

Suurtehoimurointia tarjoavia yrityksiä löytyy ympäri Suomea ja palveluja tarjotaan suuriin ja pienempiin projekteihin. Suurtehoimuroinnin parissa työskentelee Lassila & Tikanojalla noin 250 henkeä koko Suomessa, joista Etelä-Karjalan alueella noin 30 henkeä. Työn fyysisen luonteen ja vaativuuden takia suurin osa työntekijöistä on miehiä. Työympäristöt ovat moninaisia ja riippuvat asiakkaiden olosuhteista. Siisteimmät työympäristöt löytyvät metsäteollisuuden asiakkaiden parista ja hankalimmat sekä likaisimmat kohteet ovat metalliteollisuuden kohteissa. (Hämäläinen 2016.)

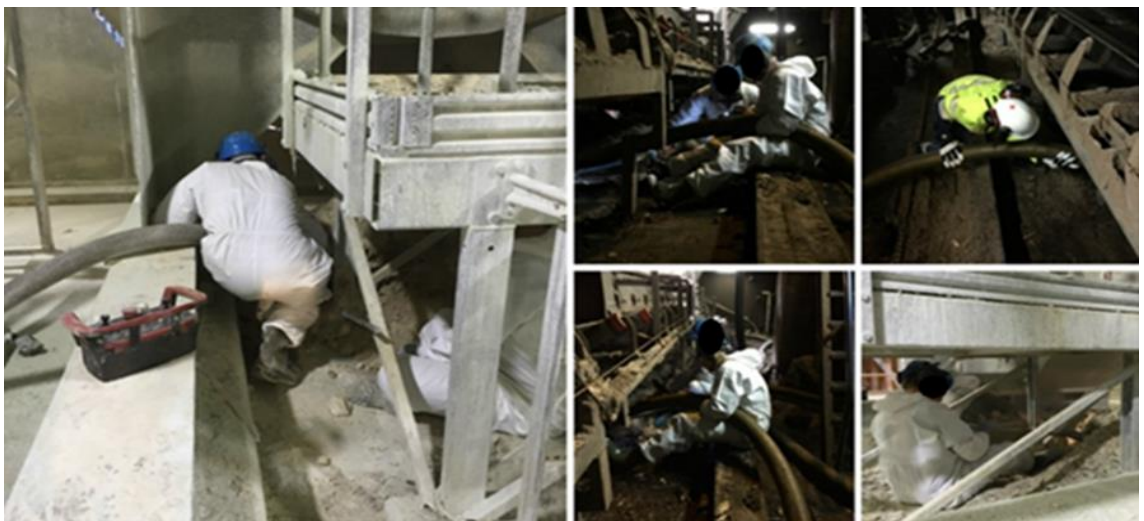
Lassila & Tikanoja käyttää suurtehoimuria esimerkiksi soran, betonimurskan ja eristeiden siirtämiseen. Yrityksen suurtehoimurit ovat ilmamäärältään 9000 m³/h ja säiliöiden vetoisuus on 15m³. Välisäiliöitä käyttämällä materiaalia voidaan imuroida satoja kuutioita päivässä. (Lassila & Tikanoja 2013b.)



Kuva 1. Suurtehoimuri

Suurtehoimuroinnin turvallisuuden ja ergonomian kehittämishanke

Lassila & Tikanojalla käynnistettiin suurtehoimurointia koskeva turvallisuuden ja ergonomian kehittämishanke lokakuussa vuonna 2015. Aloituskokouksessa sovittiin erillisten kehitysryhmien jaosta tekniikkaryhmään ja ergonomian kehitysryhmään. Projektin aloituksen jälkeen ergonomiaryhmän jäsenet kävivät talven aikana eri työkohteissa, jolloin ryhmäläiset imuroivat, kuvasivat ja videoivat imurointityötä sekä haastattelivat työntekijöitä. (Hämäläinen 2016.)



Kuva 2. Suurtehoimuroinnin työasentoja (Hämäläinen 2016)

Toisessa kokouksessa maaliskuussa vuonna 2016 ergonomiaryhmä kokosi yhteen ergonomiakartoituksien havainnot sekä sopivat jatkotoimenpiteistä. Kartoituksissa todettiin, että suurtehoimurointia tehdään pääosin pelkällä letkulla ilman imusuulaketta, joka aiheuttaa työturvallisuusriskin ja heikentää työergonomiaa kuten myös imurointityön laatua ja toisinaan myös työn sujuvuutta. (Hämäläinen 2016.)



Kuva 3. Imurointi ilman suulaketta ja suulakkeen kanssa

Useimmissa työkohteissa olisi voitu käyttää yksiköihin hankittuja suulakkeita, mutta pääosin lähes kaikki niistä todettiin eri syistä epäkäytännöllisiksi, kuten painavaksi tai malliltaan epäergonomisiksi, jolloin niiden käyttö on jäänyt vähäiseksi. Nykyohjeistus ei edellytä suulakkeen käyttöä. Letkun päähän liitettävä noin 30-40 cm suora päätysuulake todettiin toimivaksi, sillä se ehkäisee letkun tukkeutumista. (Hämäläinen 2016.)



Kuva 4. Imuroinnissa käytetty suulake

Kartoituksissa todettiin, että vuosien aikana on aiemmin testattu eri yksiköissä useita eri suulakemalleja, mutta sopivia suulakkeita ei ole löydetty valmiina erityisesti isompiin, yli 12,5 cm letkuihin. Näistä kokemuksista oppien on valmistettu uudenmallinen päätysuulake, joka on ollut testauksessa. Muitakin suulakemalleja kehitetään testausta varten - tavoitteena hyvä toimivuus, työergonomia, keveys, mutta myös suulakkeen kestävyys. (Hämäläinen 2016.)

Hankkeen myötä tullaan jatkamaan erityyppisten suulakkeiden, kevyiden letkujen, letkukahvojen, letkun kannatusvaljaiden, pyörivien letkuliittimien ja erityyppisten polvisuojien testaamista. Testaamisen tavoitteena on työn keventäminen, ergonomian parantaminen sekä työn sujuvuuden ja laadun kehittäminen. (Hämäläinen 2016.)

Työergonomian todettiin kartoituksissa olevan toisinaan erittäin huonoa, mikä aiheuttaa tuki- ja liikuntaelimestön vaivoja ja ajan myötä työperäisiä tuki- ja liikuntaelimestön sairauksia sekä ennen aikaista eläköitymistä. Hankkeen myötä työntekijöille tehtiin suurtehoimuroinnin kuormittuneisuuskysely, johon vastasi 48 työntekijää. Kyselyn mukaan kuormitus imuroinnin aikana kohdistui eniten selkään. 55% kyselyyn vastanneista koki imuroinnin voimakkaasti kuormittavana. Hankkeessa mukana oleva työfysioterapeutti on huhtikuussa vuonna 2016 alkanut ohjeistaa oikeaa työergonomiaa suurtehoimurointiin. Ergonomiaryhmä yhdessä tekniikkaryhmän kanssa huolehtii teknisten suulakeiden kehitystyöstä, jolla työergonomiaa voidaan kehittää ja työtä keventää. (Hämäläinen 2016.)

4 Liikkeiden analysointi liikeanalysointilaitteella

Visuaalisen havainnoinnin lisäksi liikkeen ja liikkumisen analysointiin voidaan nykyään käyttää tietokonepohjaisia kuvausmenetelmiä. Tarkemmin suoritettua liikeanalysoinnin tarkoituksena on mallintaa ja mitata motorisen suorituksen aikana tapahtuvia ihmisen liikkeitä. Analysointia voidaan käyttää muun muassa ergonomian parantamiseen ja apuvälinetarpeen määrittelyyn. Nykyisistä tietokonepohjaisista kuvausmenetelmistä on hyötyä liikkeitä ja liikkumista analysoitaessa, sillä korkeiden otantataajuuksien ja resoluutioiden avulla voidaan mitata ja havaita liikkumisesta tekijöitä, joita ihmisen omat aistit eivät riittä erottelemaan. Tietokoneiden kehityksen myötä liikeanalyysimittausten jälkeinen suurten tietomäärien käsittely on huomattavasti nopeuttanut analysointia. Kehitys on mahdollistanut graafisten mallinnuksien käytön liikkumisen analysoinnissa. Liikeanalyysilaitteilla yleisimmät liikkeistä analysoidtavat muuttujat ovat lineaarisessa liikkeessä paikan muutokset, nopeus, kulmakiihtyvyys ja angulaarisessa liikkeessä rotaatiosiirtymä, kulmanopeus ja kulmakiihtyvyys. (Kauranen & Nurkka 2010, 370-372.)

Liikeanalysointilaitteistoja käytetään, kun halutaan tarkkoja kvantitatiivisia numeerisia tietoja kehon ja sen osien liikkeistä esimerkiksi tasapaino- ja nivelkulmamittauksissa, kävelynanalysoinnissa, perusliikkumisessa sekä liikunta- ja työsuoritusten analysoinnissa. Liikeanalyysilaitteistojen käyttö on lisääntynyt viime aikoina turvallisuusalan kasvojen ja liikkumisen tunnistamisessa, elektroniikkateollisuudessa teollisuusrobottien suunnittelussa ja ohjelmoinnissa sekä viihdeteollisuuden videopelien ja elokuvien virtuaalihahmojen luomisessa ja liikuttelussa. (Kauranen & Nurkka 2010, 370, 373.)

Kaupallisista optisista järjestelmistä Viconin heijastavia markkereita ja Optotrakin aktiivisia markkereita on pidetty ihmisten liikkeen analysoinnin kultaisena standardina. Vaikka järjestelmät ovat tarkkoja, on niissä rajoitteina niiden korkea hinta ja rajoitetut mittausmäärät. Kiinteiden laitteiden käyttö laboratorio-olosuhteissa vaikeuttaa päivittäisten toimien seurantaa tai työn ergonomian arviointia. Sen sijaan inertiaaliantureita on onnistuneesti sovellettu laboratorion ulkopuolella tapahtuviin mittauksiin. (Roetenberg 2006, 13.) Inertiaalianturilla eli inertiaalisella mittayksiköllä tarkoitetaan paikallista järjestelmää, jonka avulla voidaan yhdistää

kolmiulotteisesti gyroskoopin, kiihtyvyysanturin ja magnetometrin tuottamaa dataa. (Seel, Raisch & Schauer 2014, 6892.)

Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitte

Ihmisen koko kehon liikeanalyysiin voidaan käyttää MVN BIOMECH -inertiaaliliikeanalyysilaitetta, jota valmistaa Xsens Technologies B.V. Laitteen 17 mittaussensoria kiinnitetään elastiseen pukuun ja jokainen mittaussensori pitää sisällään 3D-kiihtyvyysanturin, 3D-magnetometrin ja 3D-gyroskoopin. Liikeanalyysipuvun mittaussensorit sijaitsevat lantiolla, rintalastalla, ylä- ja alaraajoissa sekä päässä. (Xsens 2013.) Wixtedin, Billingin ja Jamesin (2010) tutkimuksen mukaan inertiaaliantureiden todetaan olevan luotettava keino analysoida esimerkiksi juoksu-tekniikkaa (Wixted, Billing & James 2010, 207-212).

Kiihtyvyysanturit mittaavat nopeuden muutoksia suoraan mitattavasta kohteesta. Kiihtyvyysantureilla mitataan liikkeiden ja liikkumisen sisältämiä voimakkaita kiihtyvyys- ja hidastuvuuskomponentteja. Näitä esiintyy esimerkiksi hypyissä, kävelyssä ja juoksussa. (Kauranen & Nurkka 2010, 23, 405.) Magnetometri aistii vaakatasossa maan magneettikenttää kompassin lailla. Gyroskooppia käytetään asennon mittaamiseen pystytasossa. (Roetenberg 2006, 13.)

Laitteen teknologia perustuu eri antureiden mittaustietojen yhdistämiseen paikallisesti mittaussensorissa sekä telemetriaan. Mittaustietoja voidaan välittää langattomasti 50 - 100 metrin etäisyydelle puvun lähetinyksikön avulla. Tämä mahdollistaa testaamisen laborioiden ulkopuolella todellisissa suoritussympäristöissä. Mittaussensoreiden avulla tuotetaan tietoa kehon eri osien orientaatiosta ja sijainnista toistensa suhteen, ja ne mahdollistavat esimerkiksi ihmisen kehon nivelkulmien analysoinnin liikkeen aikana. (Xsens 2013.)

Zhang ym. (2013) tutkivat Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitteen validiteettia mittamaan alaraajojen nivelkulmia. Tutkimuksessa vertailtiin Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitteen ja kamerapohjaisen liikeanalyysilaitteen antamia nivelkulmia. Tutkimus suoritettiin kymmenelle terveelle koehenkilölle, jotka suorittivat kolme erilaista kävelyä (tasaisella kävely, portaille nousu ja portailta laskeu-

tuminen). Kaikissa kolmessa kävelysuorituksessa Xsens-järjestelmä määrittä kaikissa nivelissä tarkemmin koukistus- ojennus-nivelkulmat kuin kamerapohjainen liikeanalyysilaitte. (Zhang, Novak, Brouwer & Li 2013, N63.)

Dinu ym. (2016) selvittivät tutkimuksessaan inertiaalianturiteknologiaa sisältävän Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitteen tarkkuutta ja luotettavuutta. Tutkimuksessa verrattiin kahdenkymmenen vapaaehtoisen koehenkilön massakeskipisteen vaihteluja MVN BIOMECH -järjestelmän ja optoelektronisen Vicon-infrapunajärjestelmän avulla. Koehenkilöt seisoivat ensin liikkumatta 30 sekunnin ajan, minkä jälkeen he hyppäsivät paikallaan. Kinemaattista dataa kerättiin samanaikaisesti MVN BIOMECH ja Vicon -järjestelmien avulla laboratorio-olosuhteissa. MVN BIOMECH -järjestelmä sisälsi seitsemäntoista inertiaalianturia ja Vicon -järjestelmä kahdeksan infrapunakameraa. Tutkimuksen tulokset osoittivat MVN BIOMECH -mittaustulosten olevan yhteneviä ja tarkkoja infrapunajärjestelmän kanssa. Pieniä eroja voitiin selittää molempien järjestelmien antureiden ja markkereiden välisillä henkilöiden pehmytkudosten liikkeillä sekä MVN BIOMECH -järjestelmän alhaisilla magneettikentän häiriöillä, jotka saattoivat vaikuttaa massakeskipisteen laskemiseen. MVN BIOMECH -järjestelmä kehitettiin alustavasti tutkimaan kohteen makroliikettä, mutta tulokset osoittivat, että järjestelmä pystyy myös rekisteröimään asennon mikroliikkeitä, kuten asennon huojuntaa. (Dinu, Fayolas, Jacquet, Leguy, Slavinski & Houel 2016, 655-657.)

Puettavien ja ei-puettavien sensoreiden avulla kävelyn analyysitapoja tutkimuksessaan selvittäneiden Muro de la Herran ym. (2014) mukaan yksi lupaavimmista ja laajalti käytetyistä kannettavista antureista viimeaikaisissa tutkimuksissa on inertiaalinen anturi. Tämän tyyppiset anturit ovat osoittautuneet erittäin hyödyllisiksi ja tarjoavat korkean 62-100% tarkkuuden, 35-100% spesifisyyden ja 55-99% herkkyyden, mallista riippuen. Puettavien sensorien hyötyjä ovat sen edullinen hinta verrattuna ei-puettaviin sensoreihin, pitkän ajan analysointi, käyttö erilaisissa ympäristöissä, lisääntyvä saatavuus pienoiskokoisissa antureissa sekä langattomien järjestelmien käytettävyyden paraneminen. Haittoja ovat rajallinen akun kesto, analyysin laskennallinen monimutkaisuus, analyysin määrä, alttius ulkoisille häiriötekijöille ja kohinalle. Laitteen sijoittaminen kehoon voi olla epä-

miellyttävää tai tungettelevaa. Yhä useammat tutkimukset osoittavat, että kannettaviin järjestelmiin perustuvien antureiden tarkkuus, yhdenmukaisuus, käytettävyys tai siirrettävyys ovat lupaavia menetelmiä kävelyn arviointiin. (Muro de la Herran, Garcia-Zapirain & Mendez-Zorrilla 2014, 3362, 3381-3383, 3388.)

Norris ym. (2014) selvittivät kirjallisuuskatsauksessaan kiihtyvyysanturin ja gyrokoopin luotettavuutta mitata kävelyä. Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin 38:aa eri artikkelia. Kirjallisuuskatsaustutkimuksen mukaan kiihtyvyysanturi ja gyroskooppi ovat todistetusti tarkkoja ja luotettavia mittaamaan kävelyä. (Norris, Anderson & Kenny 2014, 3.)



Kuva 5. Xsens MVN BIOMECH liikeanalyysipuku suurtehoimuroijan päällä

5 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaista hyötyä suulakkeesta on suurtehoimuroinnin ergonomiassa. Lassila & Tikanoja voi hyödyntää mittaustuloksia parantaessaan suurtehoimuroinnin ergonomiaa.

Opinnäytetyön tarkoitus oli vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten suulakkeen käyttö vaikuttaa suurtehoimuroinnissa tuki- ja liikuntaelimistön fyysiseen kuormitukseen?

1.1 Miten suulakkeen käyttö vaikuttaa kaula-, rinta- ja lannerangan nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa verrattuna tilanteeseen, jossa suulaketta ei käytetä?

1.2 Miten suulakkeen käyttö vaikuttaa olka- ja rannenivelten nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa verrattuna tilanteeseen, jossa suulaketta ei käytetä?

1.3 Miten suulakkeen käyttö vaikuttaa lonkka- ja polvinivelten nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa verrattuna tilanteeseen, jossa suulaketta ei käytetä?

2. Miten koehenkilöt kokevat subjektiivisesti suulakkeen hyödyn suurtehoimuroinnin fyysisessä kuormituksessa?

2.1 Mitä hyötyä suulakkeen käytöstä oli?

2.2 Mitä haittaa suulakkeen käytöstä oli?

6 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Etelä-Karjalan alueella toimivan Lassila & Tikanoja yrityksen kanssa. Tutkimusmenetelmäksi valittiin Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitteisto ja strukturoitu kyselylomake (Liite 3) suulakkeen hyödyn selvittämiseksi suurtehoimuroinnin ergonomiassa. Liikeanalyysilaitteisto valittiin mittaamaan nivelkulmia ja kyselylomake kartoittamaan koehenkilöiden subjektiivisia kokemuksia suulakkeen hyödyistä. Mittaukset toteutettiin yhden päivän aikana.

6.1 Aineisto

Perusjoukko oli Lassila & Tikanoja yrityksen suurtehoimurointia tekevät työntekijät, joita Suomessa on noin 250. Etelä-Karjalassa suurtehoimurointia tekeviä on

noin 30 henkeä. Opinnäytetyö oli otantatutkimus, jossa tiedonkeruu suoritettiin osalle perusjoukon yksilöistä. Tutkimuksessa käytettiin ryväsotantamenetelmää, josta mukaan otettiin viisi henkilöä yksinkertaisella satunnaisotannalla Etelä-Karjalan alueelta. Viidestä henkilöstä valittiin mittauksiin kolme mukaanottokriteerien perusteella ja kaksi henkilöä jäi varalle.

Tullakseen valituksi koehenkilöksi yksilön oli oltava vapaaehtoisesti suostuvainen tutkimukseen. Lisäksi mukaanottokriteerit edellyttivät, että tutkimukseen osallistuvien oli oltava Etelä-Karjalan alueella suurtehoimurointia tekeviä, työkykyisiä henkilöitä sekä sovittava liikeanalyysipuvun edellyttämiin mittoihin. Suurtehoimurointia tekevät henkilöt sopivat yhdessä työnjohdon kanssa, ketkä mukaanottokriteerit täyttävistä henkilöistä osallistuvat tutkimukseen.

Tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt olivat 180 cm pituisia mieshenkilöitä, jotka työskentelivät prosessipuhdistuksen palveluissa. Tutkimuksessa ei selvitetty koehenkilöiden mahdollisia tuki- ja liikuntaelimestön vaivoja tai muita yksilöllisiä ominaisuuksia, sillä tutkimuksen laajuus haluttiin rajata selvittämään ainoastaan apuvälineenä käytettävän suulakkeen hyötyä suurtehoimuroinnin ergonomiassa. Suulakkeen hyödyn analysoinnissa verrattiin kahta eri mittausta, joka ei edellyttänyt koehenkilöiden taustatietojen kartoittamista.

6.2 Tutkimusasetelma

Ennen mittausta koehenkilöille kerrottiin mittauksen kulusta ja jaettiin suostumuslomake (Liite 1) ja saatekirje (Liite 2). Koehenkilöt palauttivat allekirjoitetun suostumuslomakkeen ennen mittauksen alkua tutkijoille. Tutkimuksen luonne oli kokeellinen, jolloin koetilanne oli ennalta määritelty ja rajattu. Tiedot kerättiin reaaliaikaisesti, joten havaintojen ajoitus oli tosiaikainen. Tiedonkeruu tapahtui yhdelle koehenkilölle kerrallaan ja yhtenä ajan hetkenä, jolloin aikaulottuvuus oli poikittainen. Tuloksia analysoidessa verrattiin ilman suulaketta saatuja tuloksia suulakkeella saatuihin tuloksiin.

Mittaukset piti suorittaa alkuperäisen suunnitelman mukaan aidossa työympäristössä, mutta sovituksi mittauspäiväksi ei tullut työtilauksia, joten halliin kehitettiin ja vakioitiin oikeaa työtilannetta vastaava mittausympäristö.

Suostumuslomakkeiden allekirjoittamisen jälkeen koehenkilö puettiin liikeanalyysipukuun. Puku suojattiin suojahaalarilla, jota työssä käytetään. Mittauspaikan valinnassa kiinnitettiin huomiota häiriötekijöiden poistamiseen ja hyvän yhteyden löytämiseksi liikeanalyysipuvun lähetinyksiköiden ja tietokoneohjelmiston välille. Teipillä merkattiin lattiaan mittauksen lähtö- ja kalibrointipaikka. Ennen kalibroinnin aloittamista tietokoneohjelman lähtötiedoiksi tarvittiin koehenkilön pituus ja kengän mitta. Koehenkilö asettui kalibrointipaikalle ryhdikkäästi paikallaan seisten, yläraajat vartalon vierellä ja katse suunnattiin suoraan eteenpäin kalibroinnin ajaksi. Kalibroinnin jälkeen mittalaite käynnistettiin ja koehenkilölle annettiin lupa siirtyä imurointipaikalle ja aloittaa imurointityö. Noin 50 sekunnin jälkeen koehenkilölle annettiin lupa siirtyä takaisin kalibrointipaikalle kalibrointiasentoon, jolloin mittalaite pysäytettiin. Suulake kiinnitettiin imuletkuun ja toinen mittaus suoritettiin samalla tavalla suulakkeen kanssa. Mittausten jälkeen koehenkilö täytti kyselylomakkeen ja palautti täytetyn kyselylomakkeen tutkijoille. Mittaukset toistettiin samalla tavalla jokaisella koehenkilöllä.

Mittauksia suoritettiin jokaiselle koehenkilölle kaksi, yksi ilman suulaketta ja yksi suulakkeen kanssa. Jokainen mittauskerta kesti noin 60 sekuntia, josta työsuorituksen analysoitavaa dataa oli noin 35 sekuntia. Mittauksen alusta jätettiin huomioimatta siirtyminen työn suorituspaikalle ja lopusta siirtyminen takaisin laitteiston kalibrointipaikalle. Mittaukset tapahtuivat peräkkäin ja mittausten aikana työtilanteita valokuvattiin.

6.3 Tiedonkeruumenetelmät

Työn fyysisen kuormittavuuden mittaamiseen käytettiin Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitetta. Mittauksessa tarkasteltiin nivelkulmia kaula-, rinta- ja lannerangan sekä olka-, ranne-, lonkka- ja polvinivelten osalta. Kaularangassa mitattiin C7-TH1-, rintarangassa TH8-TH9- ja lannerangassa L3-L4-nikamien välisiä nivelkulmia.

Liikeanalyysilaitteiston lisäksi tutkimuksessa selvitettiin koehenkilöiden kokemuksia suulakkeen hyödyistä kyselylomakkeen avulla. Jokainen koehenkilö täytti ky-

selylomakkeen välittömästi mittausten jälkeen. Kyselylomakkeessa oli strukturoituja kysymyksiä, ja käytössä oli 5-portainen Likertin asteikko. Kyselylomakkeessa niskalla tarkoitettiin kaularankaa, yläselällä rintarankaa ja alaselällä lannerankaa.

Tutkimusongelmat	MVN BIOMECH -liikkeenalyysilaitteisto	Kyselylomake
Miten suulake vaikuttaa suurtehoimuroinnissa tuki- ja liikuntaelimestön fyysiseen kuormitukseen?	XX	X
Miten suulake vaikuttaa kaula-, rinta- ja lannerangan nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa verrattuna tilanteeseen, jossa suulaketta ei käytetä?	XX	X
Miten suulake vaikuttaa olka- ja rannenivelten nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa verrattuna tilanteeseen, jossa suulaketta ei käytetä?	XX	X
Miten suulake vaikuttaa polvi- ja lonkkanivelten nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa verrattuna tilanteeseen, jossa suulaketta ei käytetä?	XX	X
Miten koehenkilöt kokevat suulakkeen hyödyn suurtehoimuroinnin fyysisessä kuormituksessa?	X	XX
Mitä hyötyä suulakkeen käytöstä oli?	X	XX
Mitä haittaa suulakkeen käytöstä oli?	X	XX

Taulukko 3. Tiedonkeruumenetelmien ja tutkimusongelmien välinen yhteys (XX ensisijainen, X toissijainen)

6.4 Tutkimuksen eettiset näkökohdat

Tutkimusta toteutettaessa noudatettiin fysioterapia-alan hyvää tieteellistä käytäntöä sekä yleistä lainsäädäntöä. Lupa yhteistyökumppaneilta tutkimukseen hankittiin suostumuslomakkeella. Tutkimuksen hyötyjen oli arvioitu olevan suurempia kuin haittojen.

Helsingin julistuksen 1964 pohjalta huomioitiin, ettei tutkimus vahingoita tutkittavia henkilöitä fyysisesti, psyykkisesti eikä sosiaalisesti. Tutkimus oli tutkittaville henkilöille vapaaehtoinen ja heillä oli mahdollisuus keskeyttää se missä vaiheessa tahansa. Tutkimukseen osallistuville ei maksettu palkkiota. Tutkittavat suojattiin vahingoittumiselta ja heidän yksityisyyttään kunnioitettiin. Kaikki saatu tutkimusaineisto hävitettiin asianmukaisella tavalla tutkimuksen päätyttyä. Tutkimukseen osallistuville kerrottiin edellä mainittujen asioiden lisäksi tutkimuksen tarkoitus ja tutkijoiden yhteystiedot. Tutkittaville annettiin saatekirje ja suostumuslomake allekirjoitettavaksi ennen tutkimukseen osallistumista. Tutkimuksen tekijät ja siinä mukana olevat noudattivat vaitiolovelvollisuutta.

6.5 Aineiston analysointi

Mittauksessa analysoitiin nivelkulmamuuutoksia vertaamalla ilman suulaketta saatuja tuloksia suulakkeen kanssa tehtyyn vastaavaan mittaukseen. Analysointi keskittyi kaula-, rinta ja lannerangan sekä olka-, ranne, lonkka- ja polvinivelten fyysisen kuormituksen tarkasteluun liikeanalyysilaitteiston ja kyselylomakkeen tuloksien pohjalta. Tässä tutkimuksessa käytetyistä tiedonkeruumenetelmistä saatu aineisto oli kvantitatiivista, mutta saatu aineisto analysoitiin pääasiassa kvalitatiivisin menetelmin.

Kaularangan C7-TH1-, rintarangan TH8-TH9- ja lannerangan L3-L4-nikamaväleistä analysoitiin koukistus-ojennuksen sekä aksiaalisen kierron liikesuuntia. Olkanivelistä analysoitiin koukistus-ojennuksen, sisä-ulkokierron ja loitonnuksen liikesuuntia. Rannenivelten analysoinnissa keskityttiin koukistus-ojennuksen ja kyynär-värttinäluun suuntaisten taivutusten liikesuuntiin. Lonkka- ja polvinivelissä analysoitiin koukistus-ojennuksen, sisä-ulkokierron ja loitonnuksen liikesuuntia. Edellä mainituista nivelistä ja niiden liikesuunnista tarkasteltiin nivelkulma-asteiden pienimmät ja suurimmat arvot sekä niiden vaihteluvälit. Näistä kaikista laskettiin nivelkulmien keskiarvot.

Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitteen antamissa graafisissa esityksissä musta pystyviiva kuvaa työsuorituksen alkamiskohtaa. Mustan pystyviivan vasemman puoleista esitystä ei ole huomioitu tulosten tulkinnassa, sillä sen aikana tapahtui siirtyminen työn suorituspaikalle. Esityksestä on rajattu pois loppuvaihe,

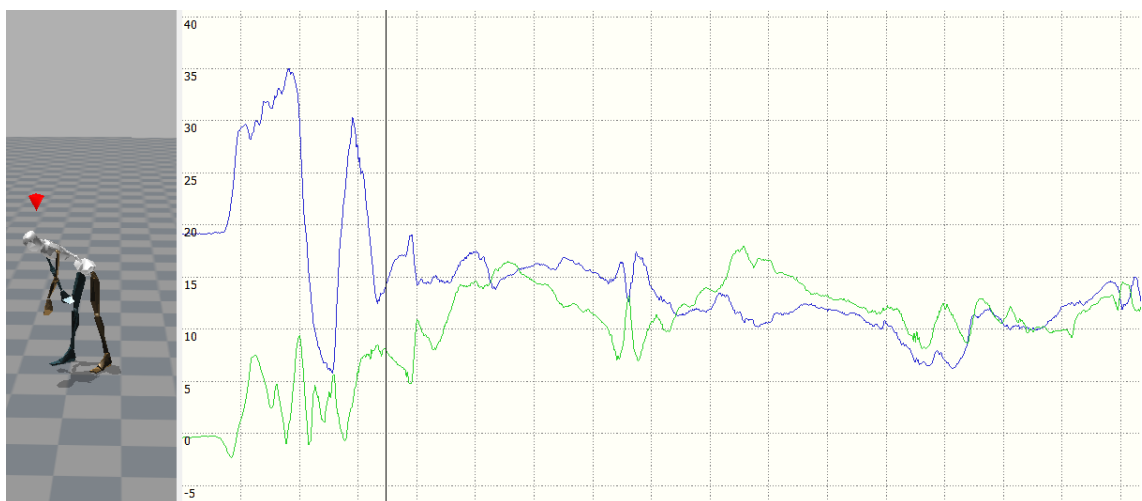
jossa koehenkilö palaa työsuorituksen jälkeen kalibrointipaikalle. Olka-, ranne-, lonkka- ja polvinivelten tuloksissa ylempi graafinen esitys kuvaa kehon oikeaa puolta ja alempi kehon vasenta puolta. Graafisissa esityksissä astelukujen plusmerkkinen (+) käyrä tarkoittaa koukistuksen, sisäkierron, loitonnuksen ja kyynärluun suuntaisen taivutuksen liikesuuntia, ja miinusmerkkinen (-) käyrä ojennuksen, ulkokierron, lähennyksen ja vääntäjäluun suuntaisen taivutuksen liikesuuntia. Aksiaalisessa kierrossa plus- ja miinusmerkit tarkoittavat kiertymistä puoleen tai toiseen.

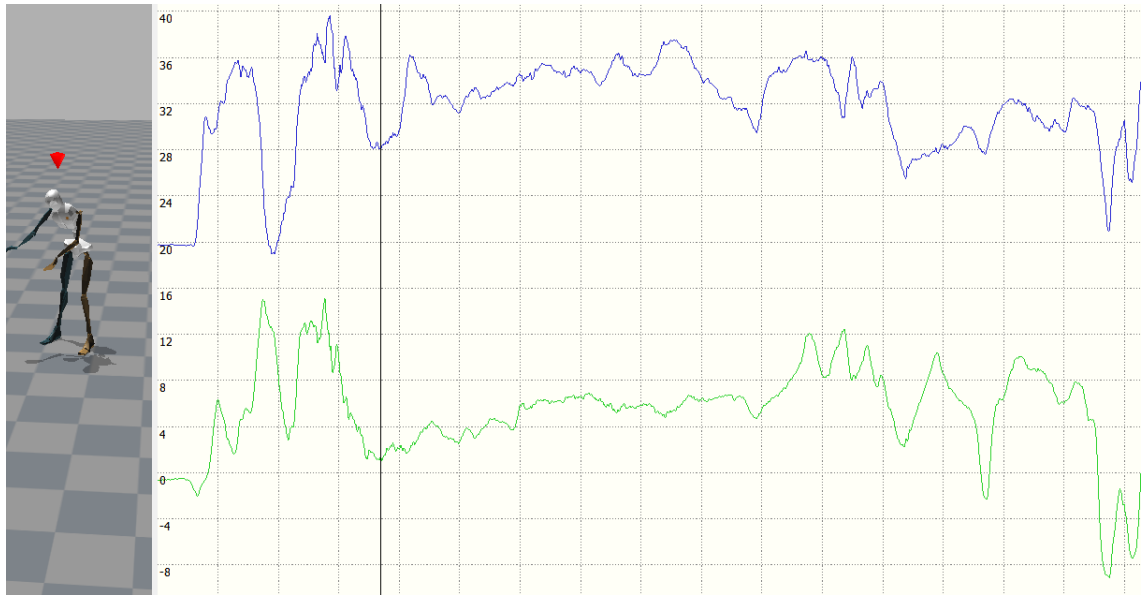
7 Tulokset

Opinnäytetyön mittauksiin osallistui kolme henkilöä, joiden tuloksista laskettiin keskiarvo. Ilman suulaketta saatuja mittausten keskiarvoja verrattiin suulakkeella saatuihin mittausten keskiarvoihin. Lisäksi vaihteluvälien avulla vertailtiin liikelaajuksia mittausten välillä. Mittauksissa käytettiin Xsens MVN BIOMECH -liikkeenanalyysilaitetta, jonka antamasta datasta tarkasteltiin nivelkulmamuu-
tosten astelukemia. Kyselylomakkeena käytettiin strukturoitua kyselylomaketta, jonka tarkoituksena oli selvittää koehenkilöiden koettua kuormitusta suurtehoimuroinnin aikana.

7.1 Suulakkeen vaikutus nivelkulmiin suurtehoimuroinnissa

C7-TH1-nivel





Kuva 6. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), C7-TH1-nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa aksiaalista kiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä)

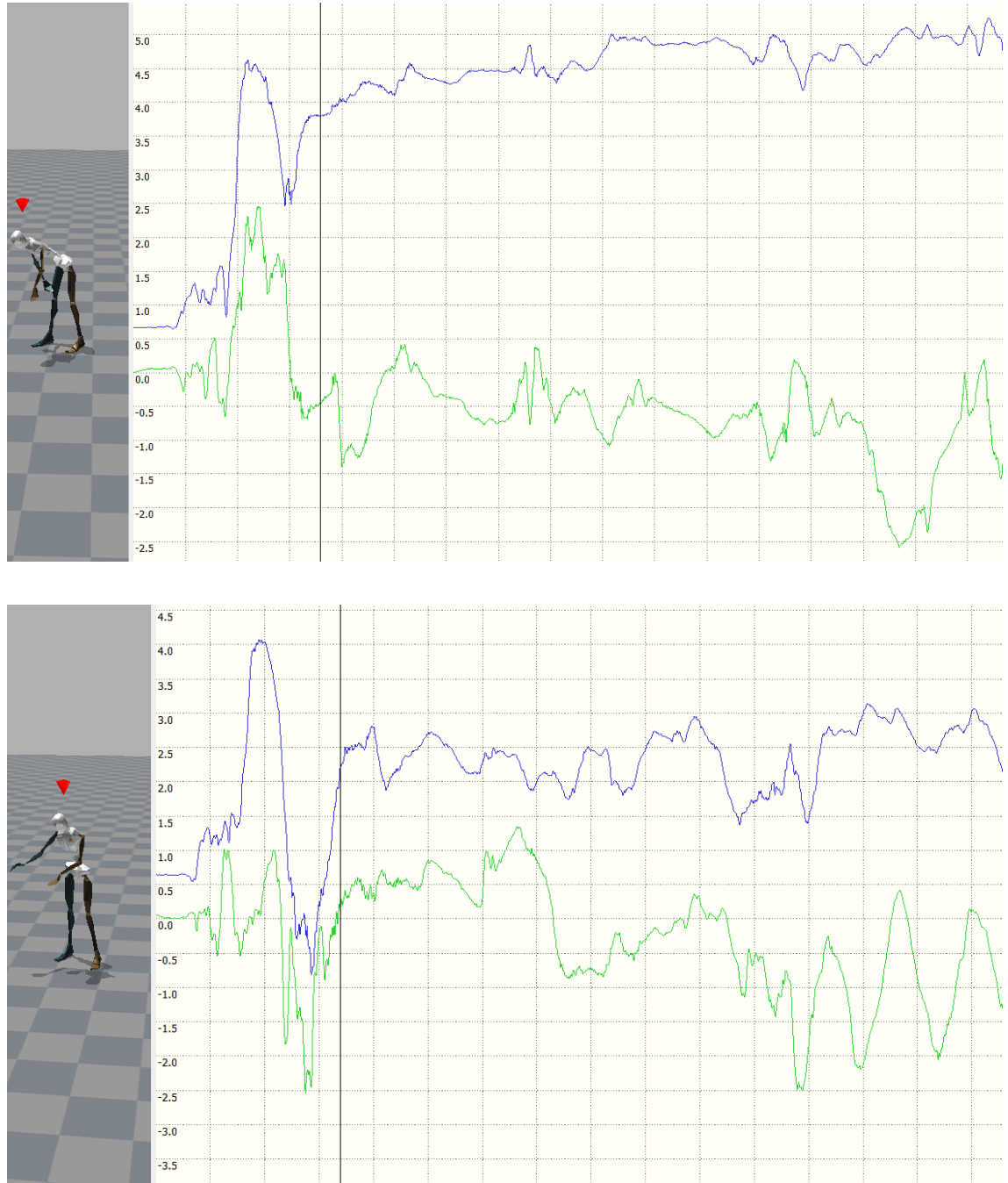
Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suulaketta			Koukistus-ojennus suulakkeella			Aksiaalinen kierto ilman suulaketta			Aksiaalinen kierto suulakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	6,2	19,1	12,9	20,9	37,6	16,7	4,6	18,0	13,4	-9,2	12,5	21,7
Koehenkilö 2	11,8	20,3	8,5	19,3	36,8	17,5	3,5	12,8	9,3	3,0	9,1	6,1
Koehenkilö 3	22,4	29,0	6,6	17,6	31,2	13,6	-8,1	-1,2	6,9	-2,4	9,4	11,8
Keskiarvo	13,5	22,8	9,3	19,3	35,2	15,9	0,0	9,9	9,9	-2,9	10,3	13,2

Taulukko 4. C7-TH1-nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli)

Kaularangan mitattujen liikesuuntien nivelkulmat suurenivat suulakkeen kanssa. Suulake lisäsi kaularangan koukistusta ja aksiaalista kiertoa. Vaihteluvälin mukaan liikelaajuudet suurenivat suulakkeella. Kaularangan kuormituksen keventämisessä suulakkeesta ei ollut hyötyä liikeanalyysilaitteen tuloksien mukaan. Viitaten sivun 13 taulukkoon, ilman suulaketta kaularangan koukistuksen nivelkulma-asteet vaihtelivat vähiten kuormittavien (0-15°) ja jokseenkin kuormittavien

(15-45°) arvojen välillä, mutta suolakkeen kanssa nivelkulma-asteet pysyivät jokseenkin kuormittavalla tasolla koko mittauksen ajan. Kaularangan kierto pysyi vähiten kuormittavalla (0-15°) tasolla kummassakin mittauksessa.

TH8-TH9-nivel



Kuva 7. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suolaketta (ylempi kuva) ja suolakkeella (alempi kuva), TH8-TH9-nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa aksiaalista kiertoa ja sininen käyrä koukistu-ojennus-liikettä)

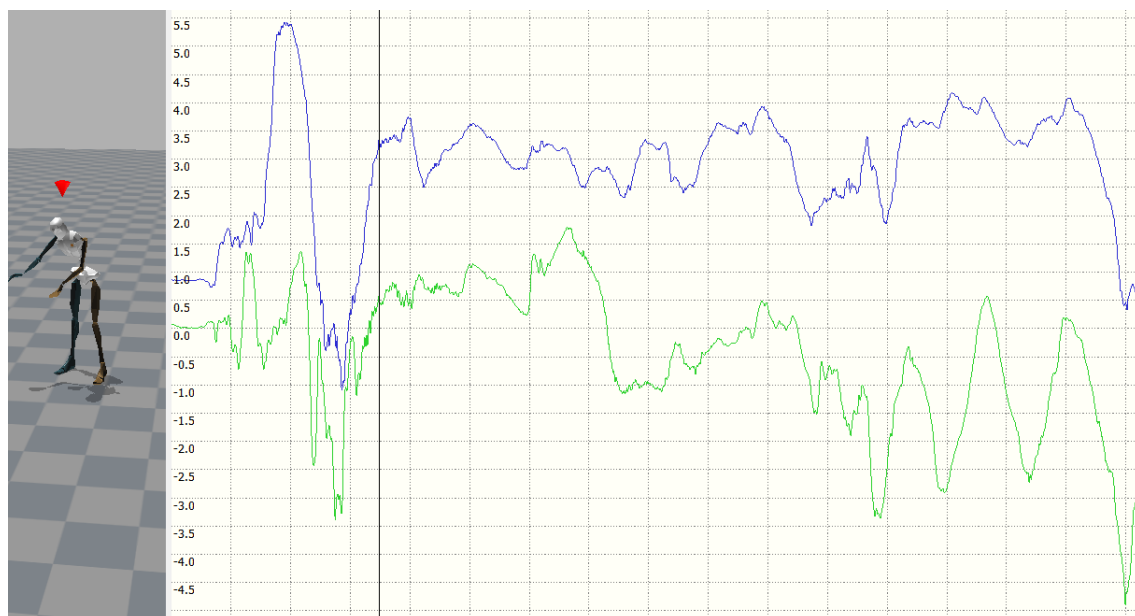
Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suolaketta			Koukistus-ojennus suolakkeella			Aksiaalinen kierto ilman suolaketta			Aksiaalinen kierto suolakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	4,2	5,2	1,0	1,4	3,1	1,7	-2,6	0,4	3,0	-2,5	1,3	3,8
Koehenkilö 2	4,2	5,1	0,9	1,5	2,4	0,9	-0,6	1,1	1,7	-1,2	0,4	1,6
Koehenkilö 3	3,2	4,1	0,9	2,1	2,9	0,8	-0,6	1,4	2,0	-1,8	0,8	2,6
Keskiarvo	3,9	4,8	0,9	1,7	2,8	1,1	-1,3	1,0	2,2	-1,8	0,8	2,7

Taulukko 5. TH8-TH9-nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli)

Rintarangan koukistus-ojennuksen ja aksiaalisen kiertoliikkeiden nivelkulmissa ei ollut merkittäviä eroja. Suolakkeen kanssa rintarangan koukistus väheni aavistuksen. Vaihteluvälin mukaan mitattujen liikesuuntien liikelaajuudet suurenivat suolakkeella. Suolakkeella ei ollut suurta vaikutusta rintarangan nivelkulmien muutoksiin eikä kuormituksen keventämiseen.

L3-L4-nivel





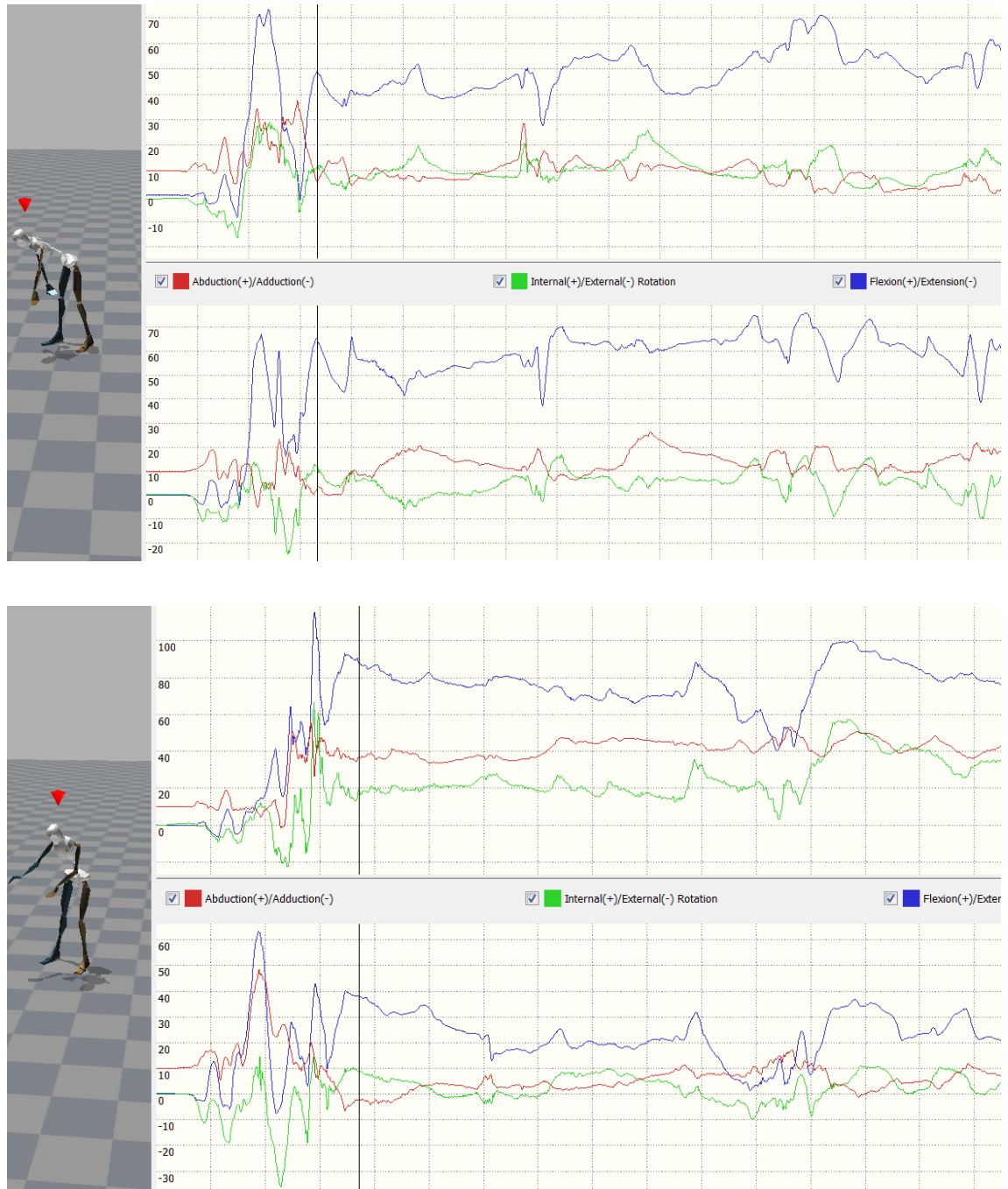
Kuva 8. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), L3-L4-nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa aksiaalista kiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä)

Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suulaketta			Koukistus-ojennus suulakkeella			Aksiaalinen kierto ilman suulaketta			Aksiaalinen kierto suulakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	5,6	7,0	1,4	0,3	4,2	3,9	-3,4	0,5	3,9	-4,9	-1,8	3,1
Koehenkilö 2	5,6	6,8	1,2	2,0	3,2	1,2	-0,8	1,5	2,3	-1,6	0,6	2,2
Koehenkilö 3	4,3	5,5	1,2	2,8	3,9	1,1	-0,8	1,9	2,7	-2,5	1,2	3,7
Keskiarvo	5,2	6,4	1,3	1,7	3,8	2,1	-1,7	1,3	3,0	-3,0	0,0	3,0

Taulukko 6. L3-L4-nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli)

Suulakkeen kanssa lannerangan koukistuksen nivelkulmat pienenevät, mutta aksiaalisissa kiertoliikkeissä ei ollut merkittäviä eroja. Lisäksi kierron suunta vaihteli hieman kumpaankin suuntaan. Vaihteluvälin mukaan mitattujen liikesuuntien liikeläajaudet suurensivat tai pysyivät samoina suulakkeella. Suulakkeesta oli hyötyä lannerangan koukistus-ojennussuuntaisen liikkeen keventämisessä, sillä se pienensi lannerangan koukistussuuntaista nivelkulmaa.

Olganivelet



Kuva 9. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), olkanivelten nivelkulmat (punainen käyrä kuvaa loitonnuks-lähennys liikettä, vihreä käyrä sisä- ja ulkokiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä)

Taulukko	Koukistus-ojen- nus ilman suu- laketta			Koukistus-ojen- nus suulakkeella			Sisä-ulkokierto ilman suula- ketta			Sisä-ulkokierto suulakkeella			Loitonnus-lä- hennys ilman suulaketta			Loitonnus-lä- hennys suulak- keella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	27,3	71,2	43,9	40,3	100,0	59,7	2,5	25,7	23,2	2,7	57,2	54,5	0,8	28,6	27,8	33,3	53,0	19,7
Koehenkilö 2	8,0	59,0	51,0	49,1	60,5	11,4	-8,7	30,0	38,7	23,6	34,5	10,9	12,8	45,1	32,3	16,5	30,9	14,4
Koehenkilö 3	20,2	52,5	32,3	12,4	28,9	16,5	-6,4	20,9	27,3	-8,3	16,3	24,6	7,3	23,4	16,1	0,5	15,5	15,0
Keskiarvo	18,5	60,9	42,4	33,9	63,1	29,2	-4,2	25,5	29,7	6,0	36,0	30,0	7,0	32,4	25,4	16,8	33,1	16,4

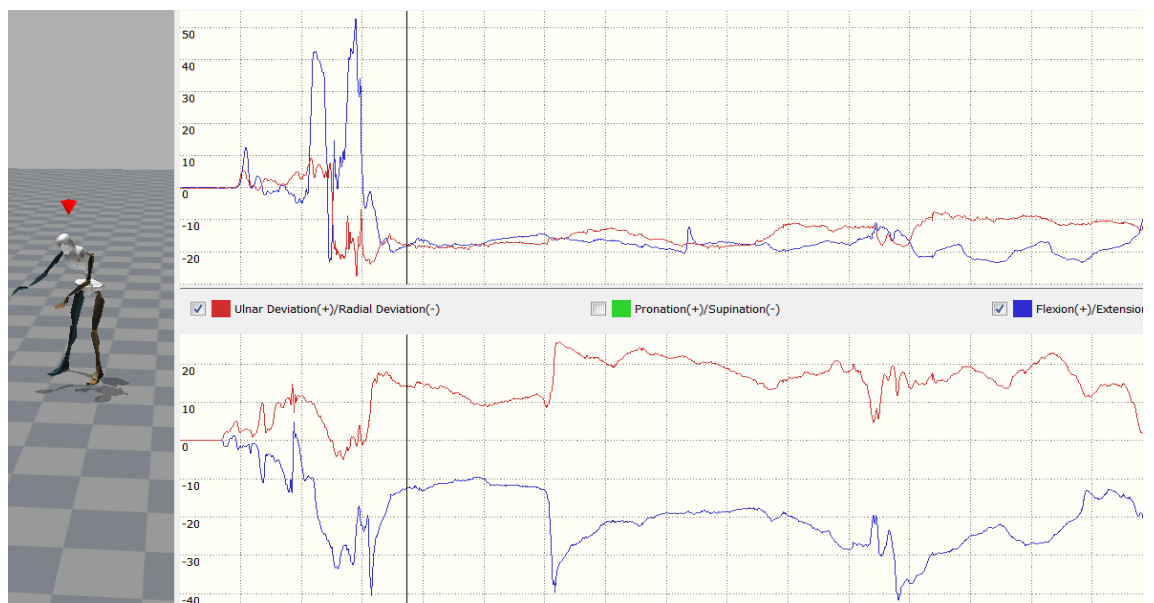
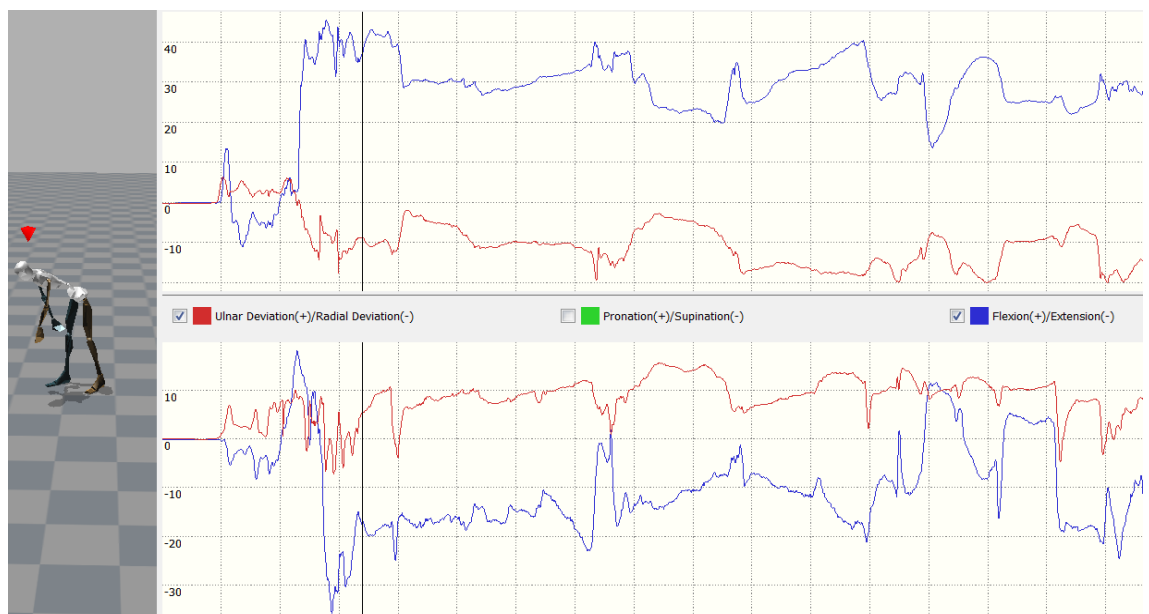
Taulukko	Koukistus-ojen- nus ilman suu- laketta			Koukistus-ojen- nus suulak- keella			Sisä-ulkokierto ilman suula- ketta			Sisä-ulkokierto suulakkeella			Loitonnus-lä- hennys ilman suulaketta			Loitonnus-lä- hennys suulak- keella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	37,2	76,0	38,8	1,2	37,6	36,4	-9,7	16,6	26,3	-9,7	11,2	20,9	0,1	26,3	26,2	-3,8	17,1	20,9
Koehenkilö 2	14,8	79,6	64,8	23,2	42,8	19,6	-29,3	22,0	51,3	3,4	22,5	19,1	-15,8	51,1	66,9	-2,7	9,5	12,2
Koehenkilö 3	7,3	31,8	24,5	19,8	29,8	10,0	0,4	21,6	21,2	-2,9	21,5	24,4	1,2	16,1	14,9	10,2	19,0	8,8
Keskiarvo	19,8	62,5	42,7	14,7	36,7	22,0	-12,9	20,1	32,9	-3,1	18,4	21,5	-4,8	31,2	36,0	1,2	15,2	14,0

Taulukko 7. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) olkanivelen nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli)

Oikeassa olkanivelessä koukistuksen nivelkulmat suurenivat ja vasemmassa olkanivelessä pienenivät. Oikeassa ja vasemmassa olkanivelessä liikesuunnat vaihtelivat sisä- ja ulkokierron välillä, mutta suulake lisäsi etenkin oikean olkanivelen sisäkiertoa. Mittausten aikana sekä oikea että vasen olkanivel olivat enimmäkseen loitonnuksessa ja suulake lisäsi loitonnusta hieman. Vaihteluvälin mukaan mitatut liikelaajuudet oikeassa ja vasemmassa olkanivelessä pienenivät suulakkeella, ainoastaan oikeassa olkanivelessä sisä-ulkokierron liikelaajuudet suurenivat aavistuksen. Suulakkeesta oli hyötyä vasemman olkanivelen kuormituksen keventämisessä, mutta oikeassa olkanivelessä suulakkeesta ei ollut hyötyä. Viitaten sivun 13 taulukkoon, ilman suulaketta oikean ja vasemman olkanivelen koukistuksen nivelkulma-asteet vaihtelivat vähiten kuormittavien (0-20°) ja erittäin kuormittavien (>60°) arvojen välillä. Suulakkeen kanssa koukistuksen nivelkulma-asteet vaihtelivat oikeassa olkanivelessä jokseenkin kuormittavien (20-

60°) ja erittäin kuormittavien arvojen välillä, mutta vasemmassa olkanivelessä nivelkulma-asteet pysyivät vähiten kuormittavien ja jokseenkin kuormittavien arvojen välillä. Oikean ja vasemman olkanivelen loitonnuksen nivelkulma-asteet ilman suulaketta vaihtelivat vähiten kuormittavien (0-10°) ja erittäin kuormittavien (>30°) arvojen välillä. Suulakkeella oikean olkanivelen loitonnuksen nivelkulma-asteet vaihtelivat jokseenkin kuormittavien (10-30°) ja erittäin kuormittavien (>30°) arvojen välillä, mutta vasemman olkanivelen loitonnuksen nivelkulma-asteet pysyivät vähiten kuormittavien ja jokseenkin kuormittavien arvojen välillä.

Rannenivelet



Kuva 10. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), rannenivelten nivelkulmat (punainen käyrä kuvaa kyynär-värttinäluun suuntaista taivutusta ja sininen käyrä koukistus-ojennusliikettä)

Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suulaketta			Koukistus-ojennus suulakkeella			Kyynär-värttinäluun suuntainen taivutus ilman suulaketta			Kyynär-värttinäluun suuntainen taivutus suulakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	13,7	43,2	29,5	-23,4	-10,9	12,5	-20,0	-1,9	18,1	-19,5	-7,3	12,2
Koehenkilö 2	25,3	61,0	35,7	-15,2	8,0	23,2	-18,9	8,7	27,6	-0,7	8,6	9,3
Koehenkilö 3	-24,2	-3,9	20,3	-28,6	-7,9	20,7	-4,5	12,5	17,0	14,0	21,6	7,6
Keskiarvo	4,9	33,4	28,5	-22,4	-3,6	18,8	-14,5	6,4	20,9	-2,1	7,6	9,7

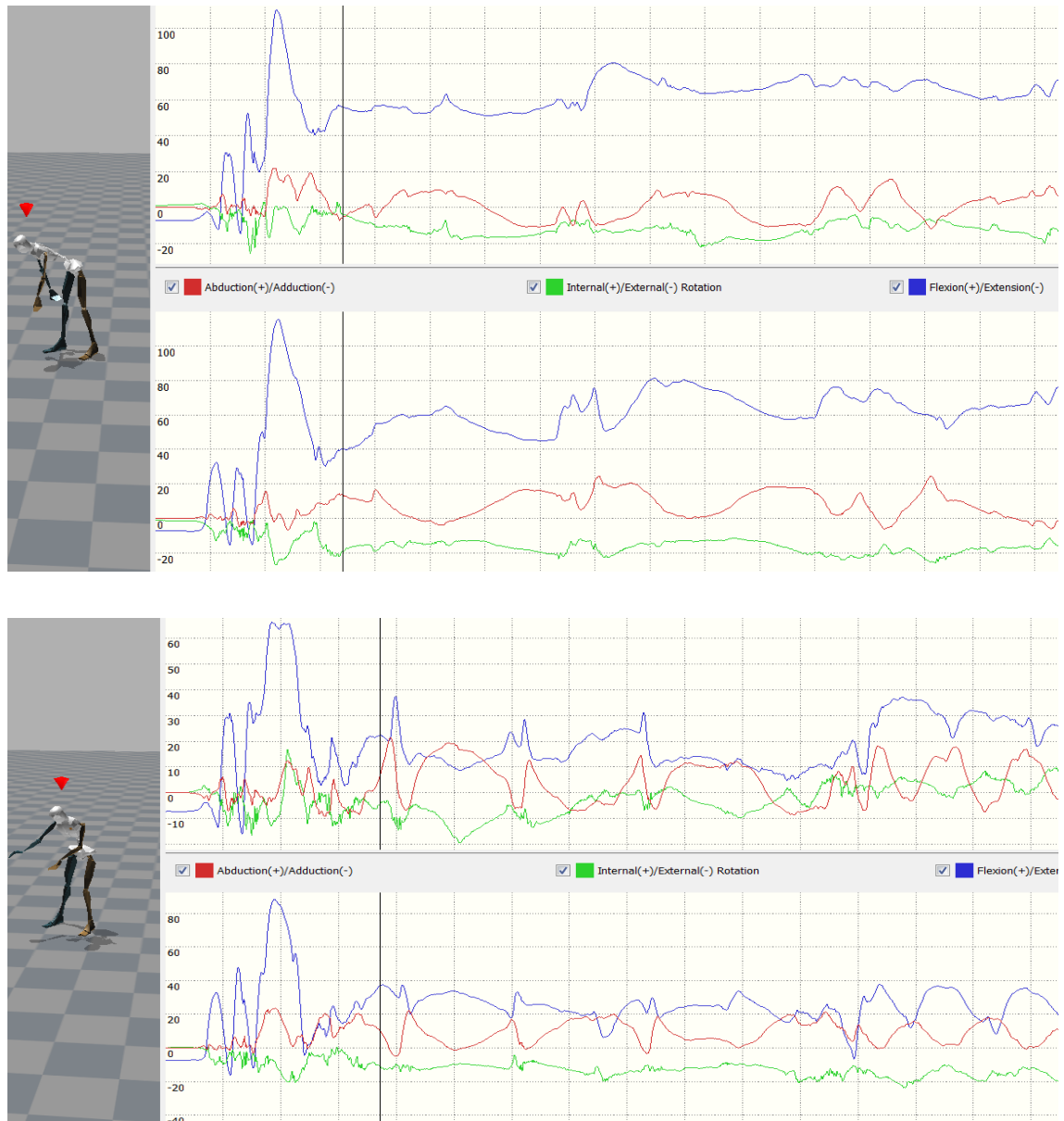
Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suulaketta			Koukistus-ojennus suulakkeella			Kyynär-värttinäluun suuntainen taivutus ilman suulaketta			Kyynär-värttinäluun suuntainen taivutus suulakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	-24,9	11,7	36,6	-41,3	-9,5	31,8	-4,5	15,7	20,2	1,9	25,6	23,7
Koehenkilö 2	-39,5	12,8	52,3	-33,7	-10,6	23,1	-14,6	14,5	29,1	10,0	28,9	18,9
Koehenkilö 3	-3,5	34,1	37,6	-6,4	10,3	16,7	-15,6	-2,7	12,9	7,0	17,5	10,5
Keskiarvo	-22,6	19,5	42,2	-27,1	-3,3	23,9	-11,6	9,2	20,7	6,3	24,0	17,7

Taulukko 8. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) ranneniveleen nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli)

Oikeassa ja vasemmassa rannenivelessä suulakkeen kanssa rannenivelten koukistus vaihtui ojennukseen tai ojennussuuntainen liike lisääntyi. Oikeassa ja vasemmassa rannenivelessä kyynär-värttinäluun suuntaiset taivutukset vaihtelivat kumpaankin suuntaan, mutta suulake lisäsi kyynäriluun suuntaista taivutusta. Rannenivelten kaikissa liikesuunnissa vaihteluvälin liikelaajuudet pienenevät suulakkeella. Suulakkeesta ei ollut hyötyä rannenivelten kuormituksen keventämisessä, sillä rannenivelten asento pysyi kuormittavalla tasolla liikesuunnasta huolimatta. Viitaten sivun 13 taulukkoon, ilman suulaketta sekä suulakkeella oikean ja vasemman ranneniveleen koukistus-ojennus-suuntaiset nivelkulma-asteet vaihtelivat vähiten kuormittavien (0-°) ja keskiasennosta poikkeavien (>20°) arvojen

välillä. Oikean rannenivelen kyynär-värttinäluun suuntaisten taivutusten nivelkulma-asteet ilman suulaketta ja suulakkeella pysyivät vähiten kuormittavien arvojen välillä. Vasemman rannenivelen kyynär-värttinäluun suuntaisten taivutusten nivelkulma-asteet ilman suulaketta ja suulakkeella vaihtelivat vähiten kuormittavien ja keskiasennosta poikkeavien arvojen välillä.

Lonkkanivelet



Kuva 11. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), lonkkanivelten nivelkulmat (punainen käyrä kuvaa loitonnuksen lähennys-liikettä, vihreä käyrä sisä-ulkokiertoa ja sininen käyrä koukistusojennus-liikettä)

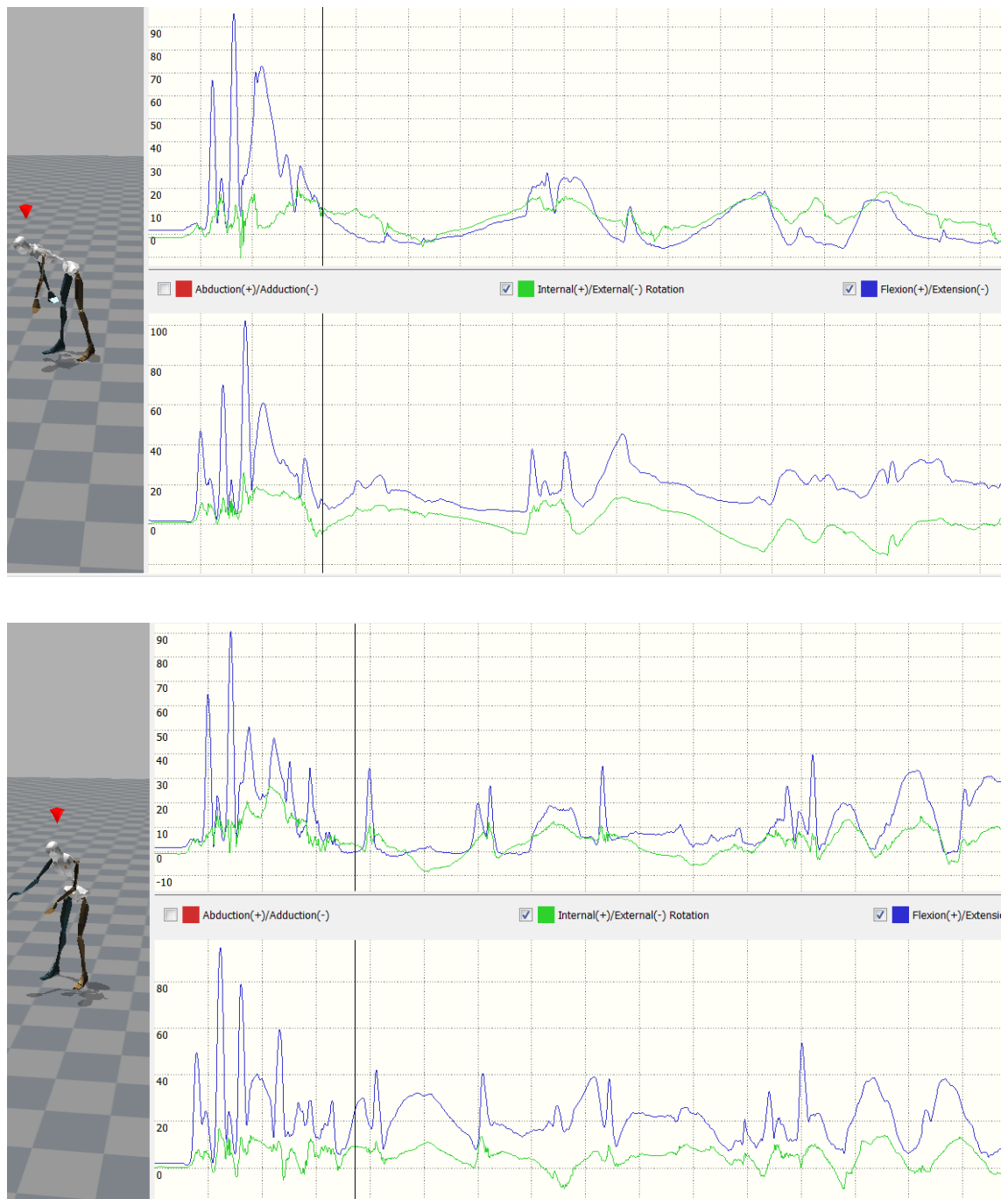
Taulukko	Koukistus-ojen- nus ilman suu- laketta			Koukistus-ojen- nus suulak- keella			Sisä-ulkokierto ilman suula- ketta			Sisä-ulkokierto suulakkeella			Loitonnuksen-lä- hennys ilman suulaketta			Loitonnuksen-lä- hennys suulak- keella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	51,0	81,3	30,3	4,5	37,5	33,0	-22,2	-3,8	18,4	-19,6	10,0	29,6	-11,6	16,4	28,0	-8,8	21,4	30,2
Koehenkilö 2	39,8	90,0	50,2	-5,6	17,2	22,8	-13,1	27,4	40,5	-18,3	0,1	18,4	-9,0	26,9	35,9	-11,9	7,9	19,8
Koehenkilö 3	17,8	54,4	36,6	-3,1	16,4	19,5	-17,8	11,0	28,8	-52,0	5,8	57,8	-6,7	17,6	24,3	-4,7	10,2	14,9
Keskiarvo	36,2	75,2	39,0	-1,4	23,7	25,1	-17,7	11,5	29,2	-30,0	5,3	35,3	-9,1	20,3	29,4	-8,5	13,2	21,6

Taulukko	Koukistus-ojen- nus ilman suu- laketta			Koukistus-ojen- nus suulak- keella			Sisä-ulkokierto ilman suula- ketta			Sisä-ulkokierto suulakkeella			Loitonnuksen-lä- hennys ilman suulaketta			Loitonnuksen-lä- hennys suulak- keella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	40,0	81,7	41,7	-5,9	38,0	43,9	-26,1	-11,3	14,8	-23,4	-4,1	19,3	-6,1	24,7	30,8	-5,2	22,5	27,7
Koehenkilö 2	38,4	89,9	51,5	0,5	18,6	18,1	-18,5	-0,7	17,8	-16,3	11,7	28,3	-11,3	29,1	40,4	-0,1	22,7	22,8
Koehenkilö 3	16,4	56,0	39,6	1,5	22,2	20,7	-27,7	-6,8	20,9	-34,2	-1,7	32,5	-10,3	7,4	17,7	-2,0	17,6	19,6
Keskiarvo	31,6	75,9	44,3	-1,3	26,3	27,6	-24,1	-6,3	17,8	-24,6	2,0	26,7	-9,2	20,4	29,6	-2,4	20,9	23,4

Taulukko 9. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) lonkkanive-
len nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihtelu-
väli)

Oikeassa ja vasemmassa lonkkanivelessä koukistuksen nivelkulmat ja vaihtelu-
väli pienenevät merkittävästi suulakkeella. Sisä- ja ulkokierron sekä loitonnuksen
ja lähennyksen liikesuunnat vaihtelivat mittausten aikana oikeassa ja vasem-
massa lonkkanivelessä. Enimmäkseen lonkkanivelet olivat ulkokierrossa. Loiton-
nuksen ja lähennyksen suhteen tulokset ovat ristiriitaisia liikesuuntien vaihtelujen
vuoksi. Vaihteluvälin mukaan liikelaajuudet kiertojen aikana suurenevat ja loiton-
nus-lähennyksen aikana pienenevät. Suulakkeesta oli hyötyä lonkkanivelten kuor-
ituksen keventämisessä, sillä se pienensi koukistussuuntaisia nivelkulmia.

Polvinivelet



Kuva 12. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), polvinivelten nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa sisä-ulkokiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä)

Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suulaketta			Koukistus-ojennus suulakkeella			Sisä-ulkokierto ilman suulaketta			Sisä-ulkokierto suulakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	-6,3	26,8	33,1	-2,1	40,3	42,4	-5,4	18,4	23,8	-8,3	14,6	22,9
Koehenkilö 2	-7,9	55,5	63,4	6,5	40,3	33,8	-21,5	17,4	38,9	-7,8	13,6	21,4
Koehenkilö 3	0,2	46,7	46,5	-8,8	35,2	44,0	-9,3	15,0	24,3	-13,6	53,5	67,1
Keskiarvo	-4,7	43,0	47,7	-1,5	38,6	40,1	-12,1	16,9	29,0	-9,9	27,2	37,1

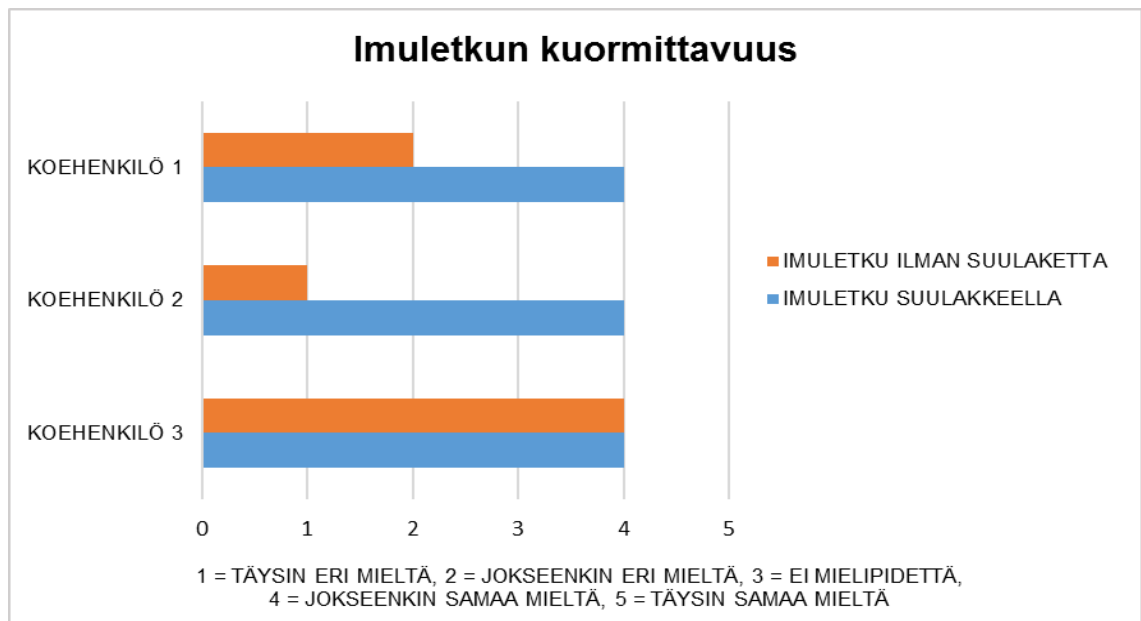
Taulukko	Koukistus-ojennus ilman suulaketta			Koukistus-ojennus suulakkeella			Sisä-ulkokierto ilman suulaketta			Sisä-ulkokierto suulakkeella		
	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv	min	max	vv
Koehenkilö 1	7,4	45,6	38,2	5,1	54,1	49,0	-15,3	13,9	29,2	-9,1	14,2	23,3
Koehenkilö 2	10,3	67,2	56,9	7,2	44,3	37,1	-10,5	9,3	20,3	-2,5	14,3	16,8
Koehenkilö 3	0,4	37,6	37,2	1,0	26,4	25,4	-16,4	10,1	26,5	-15,2	12,7	27,9
Keskiarvo	6,0	50,1	44,1	4,4	41,6	37,2	-14,1	11,1	25,3	-8,9	13,7	22,7

Taulukko 10. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) polvinivel-
len nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihtelu-
väli)

Oikeassa ja vasemmassa polvinivelessä koukistuksen nivelkulmat ja vaihteluväli
pienenivät suulakkeella. Sisä- ja ulkokierron liikesuunnat vaihtelivat mittausten
aikana oikeassa ja vasemmassa polvinivelessä, ja tulokset ovat ristiriitaisia liike-
suuntien vaihtelujen vuoksi. Vaihteluvälin mukaan liikelaajuudet kiertojen aikana
suurenivat oikeassa polvinivelissä ja pienenivät vasemmassa polvinivelessä.
Suulakkeesta oli hyötyä polvinivelten kuormituksen keventämisessä, sillä se pie-
nensi koukistussuuntaisia nivelkulmia.

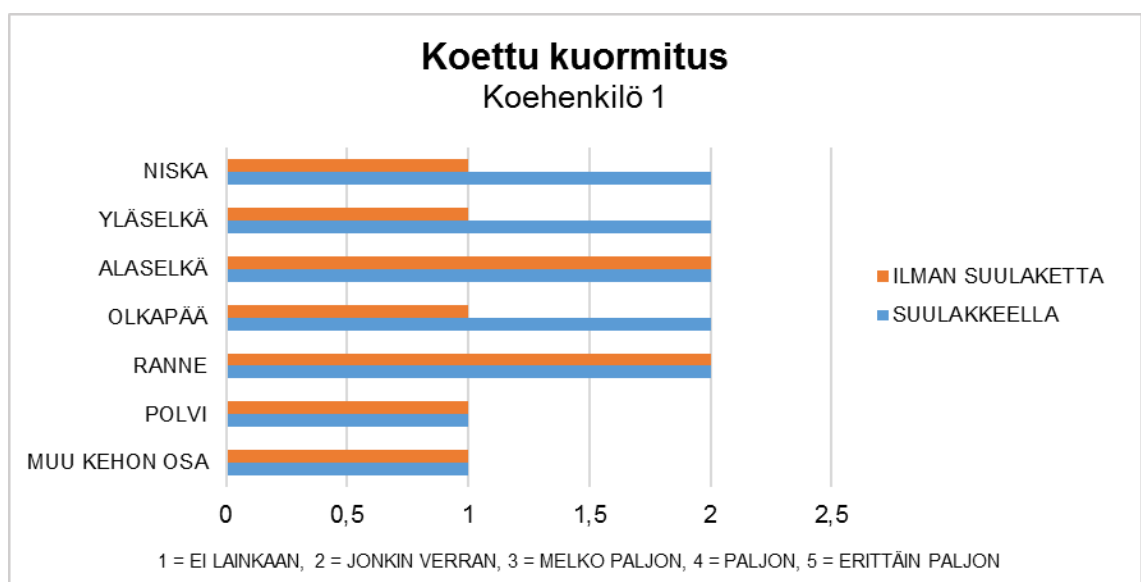
7.2 Suulakkeen subjektiivisesti koettu hyöty suurtehoimuroinnissa

Tutkimuksessa käytettiin strukturoitua kyselylomaketta selvittämään suulakkeen
subjektiivisesti koettua hyötyä suurtehoimuroinnissa. Kyselylomakkeessa kartoit-
tettiin imuletkun kuormittavuutta ja koehenkilöiden kokeman kuormituksen mää-
rää eri kehonosissa. Koehenkilöt täyttivät kyselylomakkeen heti mittausten jäl-
keen ja palauttivat sen täytettynä tutkijoille.



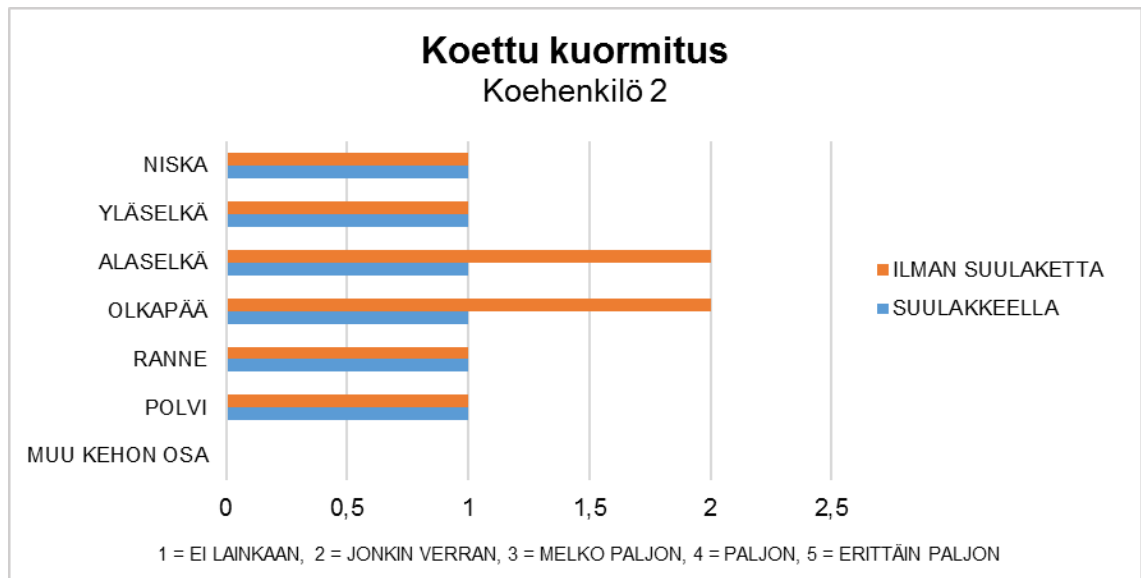
Kuva 13. Koehenkilöiden kokema imuletkun kuormittavuus (1=vähiten kuormittava, 5=eniten kuormittava)

Imuletku suulakkeen kanssa koettiin raskaammaksi tai yhtä raskaaksi kuin ilman suulaketta.



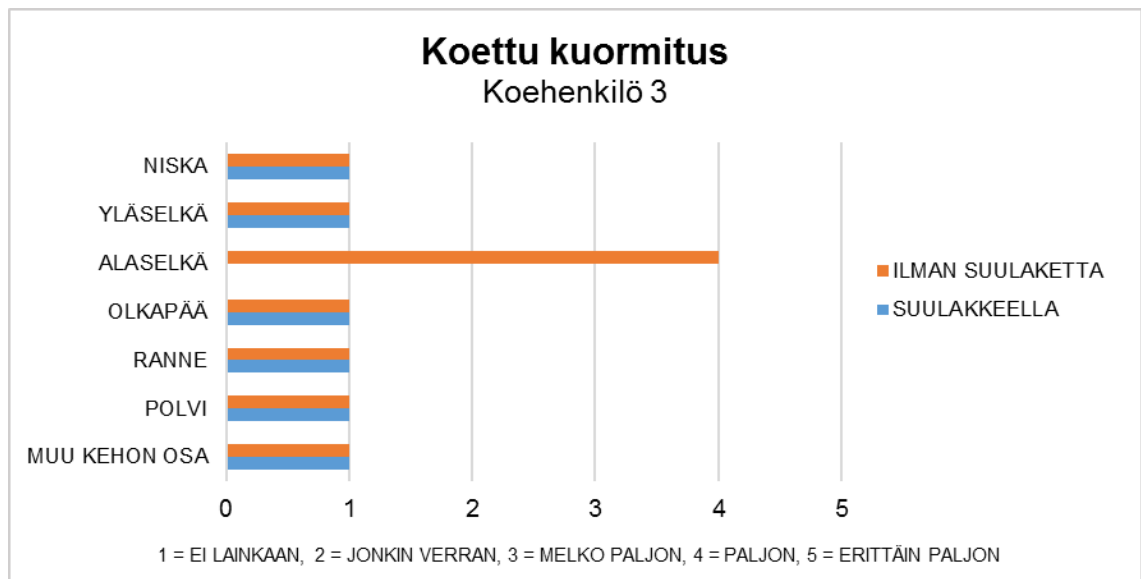
Kuva 14. Koehenkilö 1:n kokema kuormitus eri kehonosissa

Niskan, yläselän ja olkapäiden osalta koehenkilö 1 koki kuormituksen olevan jonkin verran suurempi suulakkeella kuin ilman suulaketta. Ilman suulaketta koehenkilö 1 ei kokenut lainkaan kuormitusta niskassa, yläselässä ja olkapäissä. Koehenkilö 1 koki jonkin verran kuormitusta alaselän ja ranteiden osalta ilman suulaketta ja suulakkeen kanssa. Polvien ja muiden kehon osien osalta koehenkilö 1 ei kokenut lainkaan kuormitusta kummassakaan mittauksessa.



Kuva 15. Koehenkilö 2:n kokema kuormitus eri kehonosissa

Alaselän ja olkapäiden osalta koehenkilö 2 koki kuormituksen olevan jonkin verran suurempi ilman suulaketta kuin suulakkeella. Suulakkeen kanssa koehenkilö 2 ei kokenut lainkaan kuormitusta alaselässä ja olkapäissä. Niskan, yläselän, ranteiden ja polvien osalta koehenkilö 2 ei kokenut lainkaan kuormitusta kummassakaan mittauksessa. Muiden kehon osien koettuun kuormitukseen koehenkilö 2 jätti vastaamatta.



Kuva 16. Koehenkilö 3:n kokema kuormitus eri kehonosissa

Alaselän osalta koehenkilö 3 koki imurointityön raskaaksi ilman suulaketta. Niskan, yläselän, olkapäiden, ranteiden, polvien ja muiden kehon osien osalta koehenkilö 3 ei kokenut lainkaan kuormitusta kummassakaan mittauksessa. Alaselän koettuun kuormitukseen suulakkeen kanssa koehenkilö 3 jätti vastaamatta.

Suulakkeen käytön subjektiiviset hyödyt ja haitat

Suulakkeesta ei ollut subjektiivista hyötyä imuletkun kuormittavuuden keventämisessä suurtehoimuroinnin aikana. Suulakkeesta koettiin olevan enemmän haittaa kuin hyötyä, tai tulokset olivat ristiriitaisia niskassa, yläselässä, olkapäissä ja ranteissa koehenkilöiden välillä. Polvien ja muiden kehon osien osalta ei koettu lainkaan kuormitusta kummassakaan mittauksessa. Suulakkeesta koettiin olevan jonkin verran hyötyä alaselän kuormituksen keventämisessä tai kuormitusta alaselässä ei koettu lainkaan suulakkeen kanssa tehtävän imuroinnin aikana.

8 Pohdinta

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää suulakkeen hyötyä suurtehoimuroinnin ergonomiassa. Tutkimuksessa selvitettiin liikeanalyysilaitteella suulak-

keen vaikutusta kaula-, rinta- ja lannerangan sekä olka-, ranne-, lonkka- ja polvinivelten nivelkulmiin. Lisäksi selvitettiin koehenkilöiden kokemaa kuormitusta strukturoidun kyselylomakkeen avulla.

8.1 Aineisto

Tutkimuksen pieni otoskoko ($n=3$) on herkkä poikkeavuuksille, mikä laskee tulosten yleistettävyyttä. Otoksen homogeenisuutta olisi nostanut mukaanottokriteereissä vaadittavat yhtenevät ominaisuudet esimerkiksi ikä, pituus, paino, tuki- ja liikuntaelimistön kunto sekä työkokemus. Työtavat vaihtelivat koehenkilöiden välillä, mikä saattoi vaikuttaa tulosten ristiriitoihin. Luotettavuutta heikensi koehenkilöiden kokemattomuus suulakkeella tehtävässä imuroinnissa. Tutkimuksen mukaanottokriteereiden perusteella ensisijaisesti valikoituneet kolme koehenkilöä suoritti mittaukset alusta loppuun saakka, eikä varalla oleville koehenkilöille ollut tarvetta. Koehenkilöt noudattivat annettuja ohjeita tarkasti ja olivat motivoituneita yhteistyöhön mittausten aikana, mikä nostaa tutkimuksen luotettavuutta. Tutkimuksen otoskoon ollessa hyvin pieni ($n=3$) tutkimustuloksia ei voida yleistää perusjoukossa, mutta otosta voidaan pitää ulkoisesti validina.

8.2 Menetelmät

Mittalaitteeksi valittiin Xsens MVN BIOMECH -liikkeenanalyysilaitte, koska se mahdollisti mittaukset aidossa työympäristössä laboratorion ulkopuolella ja on validi mittaamaan liikkeitä työsuorituksissa. Tutkimukseen valittu inertiaalianturitekniologiaa sisältävä mittausmenetelmä on useissa eri tutkimuksissa todettu luotettavaksi tavaksi mitata kehon makro- ja mikroliikkeitä erilaisten liikesuoritusten aikana (Roetenberg 2006, 13; Wixted ym. 2010, 207-212; Zhang ym. 2013, N63; Norris ym. 2014, 3; Muro de la Herran ym. 2014, 3362, 3381-3383, 3388; Dinu ym. 2016, 655-657). Suunnitellusta poiketen mittauksia ei toteutettu alkuperäisissä työympäristöissä, vaan työsuoritukset simuloitiin oikeata imurointityötä vastaaviksi. Tällä tavalla mittaustilanteista saatiin samankaltaiset, jolla voitiin parantaa mittausten reliabiliteettia. Toisaalta, mittaustilanne ei tapahtunut alkuperäisessä työympäristössä ja tämä on otettava huomioon tutkimustuloksissa. Reliabiliteetin lisäämiseksi tutkimusprotokolla oli ennalta määritelty ja rajattu. Mittausten aikana tutkijoilla oli etukäteen sovittu tehtävänjako, joka toistettiin jokaisen

mittauksen kohdalla samalla tavalla. Mittauksien kulku ohjeistettiin jokaiselle koehenkilölle samalla tavalla ja ennen mittausten aloittamista koehenkilöiltä varmistettiin ohjeiden ymmärrettävyys mittausten onnistumisen ja sujuvuuden takaamiseksi.

Mittaustilanteen reliabiliteetin lisäämiseksi mittauspaikaksi valittiin hallista mahdollisimman vähän mittalaitteelle häiriötä aiheuttava paikka, ja lisäksi ennen jokaisen mittauksen alkua suoritettiin laitteen kalibrointi. Joidenkin mittausten aikana esiintyi vähäisiä häiriöitä suulakkeen kanssa tehtävässä työsuorituksessa, mikä saattaa laskea validiteettia. Tutkimuksien mukaan häiriöllä saattaa olla tuloksien luotettavuutta heikentävä vaikutus (Muro de la Herran ym. 2014, 3362, 3381-3383, 3388; Dinu ym. 2016, 655-657).

Mittalaitteen virran kesto oli rajallinen, ja akkuparistoja ladattiin mittausten välillä, mutta tämä ei vaikuttanut mittausten validiteettiin heikentävästi, sillä liikeanalyysipuvun lähetinyksiköissä oli mittausten aikana riittävästi ladatut akkuparistot. Mittalaitteen rajallinen virran kesto oli tiedossa etukäteen, joten mittaustilanteita varten mukaan varattiin ylimääräisten akkuparistojen lisäksi tavallisia AA-paristoja. Tavallisten AA-paristojen kesto liikeanalyysipuvun lähetinyksiköissä oli kuitenkin riittämätön, eikä koehenkilö päässyt aloittamaan mittausta paristojen energiasäällön jo ollessa tyhjä. Mittaukset saatiin suoritettua akkuparistojen avulla.

Tutkimuksessa käytetty liikeanalyysilaitte aiheutti haasteita sen antaman äärimmäisen tarkan ja runsaan datan vuoksi. Nivelkulmia analysoitaessa tulokset olivat liiankin tarkkoja käytännössä tapahtuvien työasentojen analysoimista varten, sillä esimerkiksi pienikin horjahdus näkyy graafisessa esityksessä yksittäisenä huipuna nivelkulmamuuutoksissa, mikä vaikuttaa merkittävästi tulosten keskiarvoon, eikä ole tällöin täysin luotettava vastaamaan työsuorituksen nivelkulmia.

Strukturoitu kyselylomake valittiin toiseksi mittausmenetelmäksi, jotta voitiin analysoida koehenkilöiden kokemaa kuormitusta. Kyselylomake ei ollut täysin verrattavissa liikeanalyysilaitteen antamiin tuloksiin, sillä lonkkanivelten koettua kuormitusta ei kysytty kyselylomakkeessa erehdyksen vuoksi. Kyselylomakkeessa imuletkun kuormittavuuden sijasta olisi voitu käyttää imurointityön kuormittavuutta selkeyttämään kysymystä. Tämä heikensi kyselylomakkeen validiteettia.

Lisäksi validiteettia heikensi kyselylomakkeen epätarkkuus raajojen nivelten osalta. Kyselylomakkeessa olisi voitu erotella raajojen nivelten oikea ja vasen puoli, sillä liikeanalyysipuvun antamissa tuloksissa näitä analysoitiin. Pienistä puutteista huolimatta mittauksia ja tutkimusmenetelmiä voidaan pitää kokonaisuutena valideina ja reliaabeleina.

8.3 Tulokset

Tuloksien pohjalta suulakkeesta oli sekä hyötyä että haittaa. Suulake kevensi lonkka- ja polvinivelten sekä lannerangan ja vasemman olkanivelen kuormitusta. Suulake lisäsi kuormitusta kaularangassa ja oikeassa olkanivelessä. Muissa nivelissä suulakkeella ei ollut merkittävää vaikutusta kuormitukseen. Suulakkeesta ei ollut subjektiivista hyötyä kuormittavuuden keventämisessä suurtehoimuroinnin aikana, tai kyselylomakkeen tulokset olivat ristiriitaisia.

Fyysisesti kuormittava suurtehoimurointi aiheuttaa Lassila & Tikanoja -yrityksen työntekijöille tuki- ja liikuntaelimistön vaivoja huonon ergonomiansa vuoksi. Kehittämällä ergonomisempia työskentelyasentoja- ja tapoja voidaan vähentää sairauspoissaoloja ja niistä yhteiskunnalle ja yritykselle koituvia kustannuksia, sekä lisätä ammatillista osaamista ja työn tuottavuutta. Ergonomisilla työmenetelmillä pyritään ylläpitämään ja edistämään työntekijän työkykyä ja terveyttä. Ergonomian kehittäminen pohjautuu suunnitteluun, minkä pohjalta työtä ja työtapoja kehitetään työntekijän tarpeita ja ominaisuuksia vastaaviksi. Ergonomian suunnittelussa tulee hyödyntää työn käytännön kokemuksen omaavien imurointityöntekijöiden tietämystä ja tuntemusta suurtehoimurointityön vaatimuksista. Suulakkeiden ja muiden työtä keventävien apuvälineiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon niiden sopivuus moniin erilaisiin työkohteisiin, jolloin vältetään myöhemmin kalliiden hankintojen ja muutosten tekemiseltä. Lisäksi työtä keventävien suurtehoimuroinnin apuvälineiden tulee olla käytettävyydeltään mahdollisimman monelle työntekijälle sopivia.

Tässä tutkimuksessa käytettävää suulaketta tulisi kehittää siten, että kaularanka ja ranteet pysyisivät lähellä keskiasentoa imurointityön aikana. Työfysioterapeutin toimesta työntekijöille tulisi perehdyttää suulakkeen käyttöön ergonominen

työasento. Tutkimuksessa mukana olleet koehenkilöt eivät olleet käyttäneet suulaketta aiemmin imurointityössä sen hankaluuden ja epäsopivuuden vuoksi. Lisäksi ergonomista työtapaa voisi perehdyttää työntekijöille ilman suulaketta tehtävään imurointityöhön, mikäli suulakkeen käytön mahdollisuudet ovat rajallisia ahtaiden työskentelytilojen vuoksi oikeissa työympäristöissä. Ergonomiaan liittyvää ohjausta ja neuvontaa tulisi antaa prosessipuhdistuksen parissa työskentelevien lisäksi koko työyhteisölle, sillä tällä tavoin lisätään yrityksessä työskentelevien tietämystä oikeanlaisista työmenetelmistä. Ohjauksen aikana reaaliaikaisen visuaalisen palautteen merkitys korostuu, sillä työntekijällä on mahdollisuus nähdä työfysioterapeutin toimesta oikeaoppinen työsuoritus ja kehittää omaa työtapaansa sen pohjalta ergonomisemmaksi. Oma työtapaansa työntekijä voi tarkastella esimerkiksi videoinnin avulla. Epäergonomisen työtavan hahmottaminen auttaa kehittämään työntekijälle optimaalisinta työtapaa palautteen pohjalta.

Suurtehoimurointia ja muita prosessipuhdistuksen palveluita tekeville työntekijöille annettavalla ergonomiaopastuksella ja työtä tauottavalla elpymisliikunnalla voidaan vaikuttaa työergonomian kohenemiseen ja sen pohjalta työhyvinvointiin ja työssä jaksamiseen. Tämän tutkimuksen parametreina tarkasteltiin nivelkulmamuuutoksia ja suulakkeen subjektiivisesti koettua hyötyä. Muiden parametrien tarkastelun analyysit mahdollistavat työergonomiaan liittyvissä tutkimuksissa uusien näkökulmien tarkastelun sekä mahdollisesti tarkemman ja yksilöllisemmän arvioinnin parametreista riippuen. Työergonomian kehittäminen mahdollistuu uusien käytettävien parametrien avulla entisestään.

8.4 Jatkotutkimusaiheet

Suurtehoimuroinnin ergonomiaa tutkittiin vuosina 2015-2016 yrityksen turvallisuuden ja ergonomian kehittämishankkeen myötä. Liikeanalyysilaitteella suurtehoimuroinnin ergonomiaa ei oltu tutkimuksen kohteena olleessa yrityksessä aiemmin tutkittu. Suurtehoimurointiin liittyviä aiempia tutkimuksia ei löytynyt tietokannoista. Jatkotutkimuksia suurtehoimuroinnin ergonomiaan tulisi tulevaisuudessa tehdä suuremmalla otoskoolla, tämä parantaisi tutkimuksien luotettavuutta. Jatkotutkimuksia tulisi tehdä aidossa työympäristössä ja tutkimuksissa voisi käyttää liikeanalyysilaitteen lisäksi myös muita mittalaitteita esimerkiksi työ-

fysioterapiassa käytettäviä kyselylomakkeita ja videointia. Lisäksi työn kuormittavuutta voisi mitata elektromyografian (EMG) ja sydämen sykintätaajuuden avulla. Jatkossa suurtehoimuroinnin ergonomiaan liittyvissä tutkimuksissa voisi myös ottaa huomioon, miten huono ergonomia vaikuttaa tuki- ja liikuntaelimistöön sekä työkuuntoon ja mitkä prosessipuhdistuksen palveluista ovat työntekijää eniten fyysisesti kuormittavia.

9 Johtopäätökset

Tutkimustulosten pohjalta tulee kiinnittää huomiota tuloksista ilmenneiden hyötyjen säilyttämiseen suulakkeen suunnittelu- ja kehitystyössä. Suulaketta jatkokehittämällä imurointityön kuormittavuutta voisi mahdollisesti keventää. Tässä tutkimuksessa käytetyn suulakkeen pituuden ansiosta suurtehoimuroijan lonkkanivelten nivelkulmat pienenivät merkittävästi työskentelyasennon muuttuessa etukumarasta vähemmän kuormittavaan pystyasentoon. Tästä johtuen myös lannerankaan ja polviniveliin kohdistuva kuormitus väheni suulakkeen kanssa. Vastaavasti pystympi työskentelyasento suulakkeella lisäsi kaularankaan kohdistuvaa kuormitusta, eikä suulakkeesta näin ollen ollut hyötyä kaularangan kuormituksen keventämisessä. Katseen kohdistamista imuroitavaan kohteeseen ilman kaularangan äärimmäistä koukistusta voisi harjoittaa kaularangan kuormituksen vähentämiseksi imurointityön aikana. Suulakkeen tartuntakahvoja tulisi kehittää siten, että työntekijän ranteiden asento ei poikkea keskiasennosta kuormittavalle tasolle ($>20^\circ$). Kevyestä materiaalista valmistettu, ergonomisesti muotoiltu, mahdollisesti valjailla kannateltava ja helposti käyttöön otettava suulake mahdollistaisi suurtehoimurointityön ergonomian parantamisen.

Kuvat

Kuva 1. Suurtehoimuri, s. 16

Kuva 2. Suurtehoimuroinnin työasentoja, s. 16

Kuva 3. Imurointi ilman suulaketta ja suulakkeen kanssa, s. 17

Kuva 4. Imuroinnissa käytetty suulake, s. 18

Kuva 5. Xsens MVN BIOMECH -liikeanalyysipuku suurtehoimuroijan päällä, s. 22

Kuva 6. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), C7-TH1-nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa aksiaalista kiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä), s. 28-29

Kuva 7. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), TH8-TH9-nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa aksiaalista kiertoa ja sininen käyrä koukistu-ojennus-liikettä), s. 30

Kuva 8. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), L3-L4-nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa aksiaalista kiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä), s. 31-32

Kuva 9. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), olkanivelten nivelkulmat (punainen käyrä kuvaa loitonnuksen lähennys-liikettä, vihreä käyrä sisä- ja ulkokiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä), s. 33

Kuva 10. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), rannenivelten nivelkulmat (punainen käyrä kuvaa kyynär-värttinäluun suuntaista taivutusta ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä), s. 35

Kuva 11. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), lonkanivelten nivelkulmat (punainen käyrä kuvaa loitonnuksen lähennys-liikettä, vihreä käyrä sisä-ulkokiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä), s. 37

Kuva 12. Esimerkkinä koehenkilö 1:n imurointi ilman suulaketta (ylempi kuva) ja suulakkeella (alempi kuva), polvinivelten nivelkulmat (vihreä käyrä kuvaa sisä-ulkokiertoa ja sininen käyrä koukistus-ojennus-liikettä), s. 39

Kuva 13. Koehenkilöiden kokema imuletkun kuormittavuus (1=vähiten kuormittava, 5=eniten kuormittava), s. 41

Kuva 14. Koehenkilö 1:n kokema kuormitus eri kehonosissa, s. 41

Kuva 15. Koehenkilö 2:n kokema kuormitus eri kehonosissa, s. 42

Kuva 16. Koehenkilö 3:n kokema kuormitus eri kehonosissa, s. 43

Taulukot

Taulukko 1. Nivelten aktiiviset liikelaajuudet, s. 12

Taulukko 2. Ylikuormituksen raja-arvot eri nivelille ja liikesuunnille, s. 13

Taulukko 3. Tiedonkeruumenetelmien ja tutkimusongelmien välinen yhteys. XX ensisijainen, X toissijainen, s. 26

Taulukko 4. C7-TH1-nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 29

Taulukko 5. TH8-TH9-nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 31

Taulukko 6. L3-L4-nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 32

Taulukko 7. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) olkanivelen nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 34

Taulukko 8. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) rannenivelen nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 36

Taulukko 9. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) lonkkanivelen nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 38

Taulukko 10. Oikean (ylempi taulukko) ja vasemman (alempi taulukko) polvinivelen nivelkulma-asteet keskiarvoineen (min=minimi, max=maksimi, vv=vaihteluväli), s. 40

Lähteet

Dinu, D., Fayolas, M., Jacquet, M., Leguy, E., Slavinski, J. & Houel, N. 2016. Accuracy of postural human-motion tracking using miniature inertial sensors. Science Direct, Procedia Engineering, 147, 655 – 658.

Eaves, S., Gyi, D.E. & Gibb, A.G.F. 2016. Building healthy construction workers: Their views on health, wellbeing and better workplace design. Applied Ergonomics, 54, 10-18.

Fagerström, V. 2013. Asumaan ergonomisen avustamisen kehittäminen hoitotyössä. Monitasoinen kontrolloitu interventiotutkimus vanhustenhuollossa. Turku: Turun yliopisto.

Hellstén, K. 2014. Työn fyysinen ja psyykinen kuormittavuus vanhustenhoidossa. Seurantatutkimus ergonomisen kehittämistyön tuloksista. Turku: Turun yliopisto.

Hämäläinen, T. 2016. Kehityspäällikkö. Lassila & Tikanoja Oyj. Sähköpostiviestit 5.2.-7.12.2016.

Hänninen, O., Koskelo, R., Kankaanpää, M. & Airaksinen, O. 2005. Ergonomia terveydenhuollossa. Klaukkala: Recallmed Oy.

Kauranen, K. & Nurkka, N. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura.

Ketola, R. & Laaksonlaita, S. 2004. Toisto-Repe Toistotyön arviointimenetelmä. Helsinki: Työterveyslaitos.

Koskelo, R. 2006. The Effects of Adjustable Furniture on the Health of the Locomotor System in High School Pupils. Kuopio University Publications D. Medical Sciences, 394, 1-99.

Kukkonen, R., Hanhinen, H., Ketola, R., Luopajarvi, T., Noronen, L. & Helminen, P. 2001. Työfysioterapia. 2.painos. Helsinki: Työterveyslaitos.

KT Kuntatyönantajat 2012. Työelämän kehittäminen. Työhyvinvointi. Työssä jatkaminen. <http://www.kuntatyonantajat.fi/fi/tyoelaman-kehittaminen/tyohyvinvointi/jatkaminen/Documents/tulesairaudet-ja-tyokyvyttomyden-ehkaisy-kuntalalla.pdf> Luettu 14.3.2017.

Lassila & Tikanoja 2013a. Palvelut. Prosessipuhdistus. <http://www.lassila-tikanoja.fi/palvelut/prosessipuhdistus/> Luettu 1.3.2017.

Lassila & Tikanoja 2013b. Palvelut. Prosessipuhdistus. Suurtehoimuroinnit. <http://www.lassila-tikanoja.fi/palvelut/prosessipuhdistus/Sivut/suurtehoimuroinnit.aspx> Luettu 23.4.2016.

Lassila & Tikanoja 2013c. Yritys. <http://www.lassila-tikanoja.fi/yritys/> Luettu 1.3.2017.

Launis, M. & Lehtelä, J. 2006. Ergonomiaopas. Helsinki: Työterveyslaitos.

Launis, M. & Lehtelä, J. 2011. Ergonomia. Helsinki: Työterveyslaitos.

Magee, D.J. 2008. Orthopedic Physical Assessment, ED 5. St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier.

Mertanen, V. 2015. Työturvallisuuden perusteet. Helsinki: Työterveyslaitos.

Muro de la Herran, A., Garcia-Zapirain, B. & Mendez-Zorrilla, A. 2014. Gait Analysis Methods: An Overview of Wearable and Non-Wearable Systems, Highlighting Clinical Applications. *Sensors*, 14(2), 3362-3394.

Mähönen, E. 2017. Työolobarometri. Ennakkotiedot, syksy 2016. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja TEM raportteja 10/2017. Työ- ja elinkeinoministeriö.

Norris, M., Anderson, R. & Kenny, I.C. 2014. Method analysis of accelerometers and gyroscopes in running gait: A systematic review. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(1), 3-15.

Rakentajanetti 2016. Mitä tarkoittaa suurtehoimurointi ja missä sitä käytetään? <http://www.rakentajannetti.fi/mita-tarkoittaa-suurtehoimurointi-ja-missa-sita-kaytetaan/>. Luettu 23.4.2016.

- Rissanen, M. & Kaseva, E. 2014. Menetetyn työpanoksen kustannus. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- Roetenberg, D. 2006. Inertial and Magnetic Sensing of Human Motion. Thesis.
- Seel, T., Raisch, J. & Schauer, T. 2014. IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis. *Sensors*, 14, 6891-6909.
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. 5.luku. 24 §. Työpisteen ergonomia, työasennot ja työliikkeet.
- Wixted, A.J., Billing, D.C. & James, D.A. 2010. Validation of trunk mounted inertial sensors for analyzing running biomechanics under field condition using synchronously collected foot contact data. *Sports Engineering*, 12(4), 207-212.
- Xsens 2013. MVN User Manual. User Guide MVN, MVN BIOMECH, MVN Awinda.
- Zhang, J-T., Novak, A., Brouwer, B. & Li, Q. 2013. Concurrent validation of Xsens MVN measurement of lower limb joint angular kinematics. *Physiological Measurement*, 34, N63-N69.

Sosiaali- ja terveysala, Lappeenranta
Fysioterapeuttikoulutus

Suulakkeen hyöty suurtehoimuroinnin ergonomiassa – Tuki- ja liikuntaelimistön kuormituksen vertailu MVN BIOMECH -liikkeenanalyysilaitteella

Asta Rahkonen ja Heidi Virkkunen

Olen saanut riittävästi tietoa kyseisestä opinnäytetyöstä ja olen ymmärtänyt saamani tiedon. Minulla on ollut mahdollisuus esittää kysymyksiä ja olen saanut kysymyksiini riittävät vastaukset. Tiedän, että minulla on mahdollisuus keskeyttää osallistumiseni missä vaiheessa tahansa. Suostun vapaaehtoisesti osallistumaan tähän opinnäytetyöhön liittyvään tutkimukseen.

Aika ja paikka

Asiakas

Fysioterapiaopiskelijat

Sosiaali- ja terveysala, Lappeenranta
Fysioterapeuttikoulutus

Hei,

Lassila & Tikanojan suurtehoimurointityötä tekevät työntekijät.

Olemme 3.vuoden fysioterapiaopiskelijoita Saimaan ammattikorkeakoulusta. Toteutamme opinnäytetyötä, jonka tarkoituksena on tutkia suulakkeen hyötyä suurtehoimuroinnin ergonomiassa.

Opinnäytetyöhön sisältyy yksi mittaus ilman suulaketta ja yksi mittaus suulakkeen kanssa MVN BIOMECH -liikeanalyysilaitteistolla. Yksi mittaus kestää noin kaksi minuuttia. Mittausten jälkeen työntekijät täyttävät kyselylomakkeen liittyen suulakkeen hyötyyn suurtehoimuroinnin ergonomiassa. Mittaukset ja kyselylomakkeen täyttö tapahtuvat saman päivän aikana. Opinnäytetyön toteuttaminen tapahtuu syyskuussa 2016 ja toteutuspaikkana Lassila & Tikanojan suurtehoimuroinnin työnkohde.

Opinnäytetyön toteutukseen osallistuvan henkilön on oltava Etelä-Karjalan alueella suurtehoimurointia tekevä työntekijä. Suulakkeen hyödyn tutkiminen on tärkeää ja merkityksellistä suurtehoimuroinnin ergonomian kannalta. Lassila & Tikanoja voi hyödyntää opinnäytetyöstä saatuja tuloksia suurtehoimurointityössä.

Osallistuminen on vapaaehtoista ja osallistujalla on mahdollisuus keskeyttää missä vaiheessa tahansa. Mittausten aikana työtilanteista otetaan valokuvia opinnäytetyöraporttiin, joka tullaan julkaisemaan Internetissä Theseus-tietokannassa. Mittaustulokset esitellään keväällä 2017 Lassila & Tikanojalle pidettävässä tulosten raportointiseminaarissa. Osallistuvien anonymiteetti säilytetään läpi työn ja kerätty materiaali hävitetään asianmukaisella tavalla opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

Pyydämme ystävällisesti lupaanne osallistua ja sitoutua tähän opinnäytetyöhön. Mikäli Teillä on jotakin kysyttävää, voitte ottaa meihin yhteyttä sähköpostitse tai puhelimitse. Vastaamme mielellämme opinnäytetyöhön liittyviin kysymyksiin.

Palautathan suostumuslomakkeen allekirjoitettuna ennen mittausta opinnäytetyön tekijöille.

Ystävällisin terveisin,

Asta Rahkonen
sähköposti
p.

Heidi Virkkunen
sähköposti
p.

Työn kokeminen ilman apuvälinettä ja apuvälineellä suurtehoimuroinnissa

Pyydämme Teitä vastaamaan jokaiseen kysymykseen ruksimalla (X) sen vaihtoehdon, joka vastaa Teidän henkilökohtaista mielipidettänne.

Koehenkilö (tutkija täyttää):

	Täysin eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Ei mielipidettä	Jokseenkin samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
1. Imuletku ilman apuvälinettä tuntui raskaalta					
2. Imuletku apuvälineen kanssa tuntui raskaalta					

	Ei lainkaan	Jonkin verran	Melko paljon	Paljon	Erittäin paljon
1. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti yläselkää					
2. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti yläselkää					
3. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti alaselkää					
4. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti alaselkää					
5. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti niskaa					
6. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti niskaa					
7. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti olkapäätä					
8. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti olkapäätä					
9. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti polvea					
10. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti polvea					
11. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti rannetta					
12. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti rannetta					
13. Imurointityö ilman apuvälinettä raskasti muuta kehon osaa, mitä?					
14. Imurointityö apuvälineen kanssa raskasti muuta kehon osaa, mitä?					

KIITOS VASTAUKSISTANNE!